The background features a stylized, high-contrast illustration. A large, dark silhouette of a rooster is the central focus, facing right. Behind it, several interlocking gears are depicted in a light gray color against a darker background. The overall aesthetic is industrial and graphic.

В.М.Бондарь
Л.М.Геранина

АВТОМАТИЗАЦИЯ
ТРИКОТАЖНОГО
ПРОИЗВОДСТВА

В. М. Бондарь,
Л. М. Геранина

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО
«ТЕХНІКА»
КИЕВ — 1974

6П9.26

Б81

УДК 677.661:65.011.56

Автоматизация трикотажного производства. Бондарь В. М., Геранина Л. М. «Техника», 1974, 240 стр.

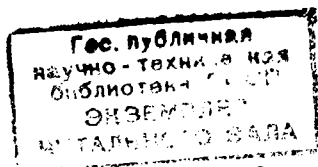
Рассмотрены основные элементы систем автоматического управления, даны схемы автоматического управления электроприводами трикотажных машин с элементами технологической защиты и программного управления. Изложены вопросы автоматического контроля и регулирования технологических параметров. Даны принципы построения автоматических приборов. Приведены схемы приборов для контроля и регулирования специфических параметров трикотажного производства, примеры существующих схем автоматизации технологических процессов и отражены основные направления развития автоматизации трикотажного производства. Книга предназначена для инженерно-технических работников трикотажных предприятий. Может быть полезной также студентам соответствующих вузов.

Табл. 4, илл. 173, библиограф. 22.

Рецензент канд. техн. наук *Е. И. Забокрицкий*

Редакция литературы по легкой, пищевой промышленности, торговле и бытовому обслуживанию

Заведующий редакцией инж. *Е. И. Касперская*



74-14469

24
24875

Б $\frac{3163-051}{M202 (04)-74}$ 144-74

© Издательство «Техника», 1974 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В директивах XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР предусмотрено увеличить к 1975 г. производство трикотажных изделий на 47%. Эта задача может быть выполнена при условии оснащения трикотажных предприятий новейшим высокопроизводительным оборудованием, широкого внедрения прогрессивной технологии, а также автоматизации и механизации производства.

Дальнейшее повышение производительности труда, улучшение условий труда и повышение качества продукции требуют более широкого применения автоматических управляющих устройств. Однако автоматизация не может быть проведена сразу и полностью. Это — длительный процесс, в ходе которого частичная автоматизация отдельных операций будет постепенно расширяться, перерастая в комплексную. Необходимыми предпосылками автоматизации являются механизация производства и оснащение производственных процессов измерительными приборами и датчиками.

В настоящее время автоматизация технологических процессов в трикотажной промышленности является одним из основных направлений технического прогресса. Новейшее оборудование трикотажных фабрик, как правило, оснащено устройствами автоматики. Все шире находят применение приборы автоматического контроля и регулирования технологических параметров.

Задача автоматизации состоит в осуществлении автоматического управления производственными процессами. Под управлением понимается совокупность операций, необходимых для пуска, остановки процесса, а также для поддержания или изменения в требуемом направлении величин, характеризующих процесс.

В книге особое внимание уделяется основным средствам автоматизации, схемам управления электроприводами трикотажных машин, приборам и устройствам автоматического контроля и регулирования, которые широко применяются в трикотажной промышленности.

Книга поможет инженерно-техническим работникам при решении многих вопросов автоматизации и комплексной механизации трикотажного производства.

Замечания по книге просим направлять по адресу: 252601, Киев, 1, ГСП, Пушкинская, 28, издательство «Техніка».

ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Системы автоматического управления состоят из отдельных связанных между собой элементов. Каждый элемент выполняет определенные функции: измерение, преобразование, сравнение, усиление сигналов, выработку задающих и управляющих воздействий. В настоящей главе рассматриваются основные элементы автоматики, которые широко применяются и могут найти еще большее применение при автоматизации трикотажного производства.

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

Всякий элемент автоматики можно рассматривать как преобразователь, на вход которого подается некоторая величина $x_{вх}$, а на выходе получается величина $x_{вых}$. Многие элементы являются детектирующими (направленного действия), т. е. сигналы в них передаются лишь в одном направлении: от входа к выходу. Например, изменение уровня жидкости приводит к перемещению поплавка, но это перемещение не влияет на значение уровня.

Основной характеристикой любого элемента является статическая характеристика, отражающая зависимость выходной величины $x_{вых}$ от входной $x_{вх}$ для установившихся состояний элемента: $x_{вых} = f(x_{вх})$.

По виду статических характеристик различают элементы плавного и релейного (разрывного) действия (рис. 1).

В большинстве случаев желательно, чтобы элемент плавного действия в рабочем диапазоне изменения входной величины имел линейную статическую характеристику. Однако реальные статические характеристики, как правило,

нелинейны. Если степень нелинейности невелика и практически несущественна, то для некоторого диапазона изменения входной величины производят линеаризацию статической характеристики, заменяя определенный участок фактической кривой касательной или секущей.

Крутизна наклона статической характеристики называется чувствительностью или передаточным коэффициентом элемента

$$s = \frac{dx_{\text{вых}}}{dx_{\text{вх}}} . \quad (1)$$

Для нелинейных элементов чувствительность — величина переменная и зависит от значения входной величины.

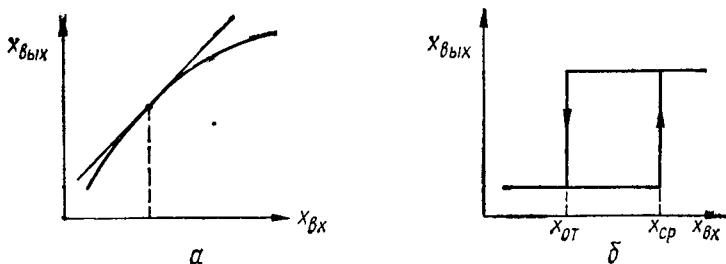


Рис. 1. Статические характеристики элементов:
 а — плавного действия; б — релейного действия.

В этом случае пользуются понятием средней чувствительности, равной тангенсу угла наклона линеаризованной статической характеристики. Для линейного элемента $s = \text{const}$.

Не во всех случаях статические характеристики могут быть линеаризованы. Это относится к существенно нелинейным элементам, у которых нелинейность характеристики выражена настолько резко, что линеаризация приводит к потере каких-либо существенных свойств характеристики.

Примеры таких характеристик приведены на рис. 2. Характеристика, изображенная на рис. 2, а, в принципе не пригодна для линеаризации из-за наличия зоны нечувствительности — участка $x_{\text{вх}} = \pm a$, на котором $x_{\text{вых}} = 0$. Величина a является порогом чувствительности элемента. Но если зона нечувствительности невелика и ее влияние на процесс несущественно, то ею можно пренебречь и спрямить характеристику, как это показано пунктиром.

Характеристика, изображенная на рис. 2, б, также в принципе не может быть линеаризована из-за наличия гистерезиса (неоднозначности). Однако при достаточно узкой петле ее приближенно можно заменить пунктирной кривой, т. е. свести к виду, поддающемуся линеаризации.

К существенно нелинейным относятся также элементы с релейными характеристиками (рис. 1, б). В этом случае при определенных значениях входного сигнала, называемых величинами срабатывания $x_{ср}$ и отпускания $x_{от}$, происходит скачкообразное изменение выходной величины.

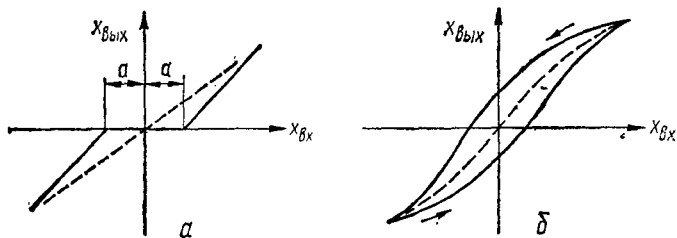


Рис. 2. Нелинейные статические характеристики:
а — с зоной нечувствительности; б — с гистерезисом.

Величина отпускания обычно меньше величины срабатывания и их отношение определяется коэффициентом возврата

$$k_{в} = \frac{x_{от}}{x_{ср}}. \quad (2)$$

Для повышения надежности работы элементов релейного действия номинальное значение входной величины $x_{н}$ выбирают несколько большим значения $x_{ср}$, что оценивается коэффициентом запаса

$$k_{з} = \frac{x_{н}}{x_{ср}}. \quad (3)$$

Поскольку элементы автоматики, как правило, обладают инерционностью, изменения выходной величины во времени практически всегда отстают от изменений входной. Поэтому важное значение имеют динамические характеристики элементов — переходная и частотные.

Переходная характеристика показывает изменение во времени выходной величины элемента $x_{вых}(t)$ при единичном скачкообразном изменении входной величины. Вид этой характеристики зависит от характера физических явлений,

протекающих в элементе (рис. 3). Она может быть идеальной (кривая 1), аperiodической (кривая 3) либо затухающей колебательной (кривая 2).

При оценке динамических свойств элементов с помощью частотных характеристик в качестве входного воздействия

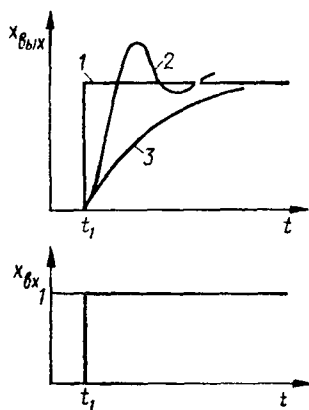


Рис. 3. Переходные характеристики элементов автоматики.

Более подробно динамические характеристики элементов и систем будут рассмотрены в гл. 4.

используется гармоническая функция времени. В этом случае выходная величина элемента также изменяется по гармоническому закону с частотой входного сигнала, но с иной амплитудой и сдвигом по фазе.

Зависимость отношения амплитуд выходной и входной величин от частоты представляет собой амплитудную частотную характеристику, а зависимость сдвига фаз колебаний на выходе относительно входных — фазовую частотную характеристику. Обе эти характеристики объединяются в одну амплитудно-фазовую характеристику.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Измерительный элемент системы автоматики служит для восприятия информации о ходе процесса и преобразования ее в вид, удобный для воздействия на последующие элементы автоматического устройства. Измерительный элемент часто называют датчиком. Датчик может состоять из одного или нескольких последовательных измерительных преобразователей (первичного, промежуточных и выходного). Причем, иногда в качестве вспомогательных применяются преобразователи, которые в других случаях используются как самостоятельные датчики.

По виду входного параметра различают измерительные преобразователи температуры, давления, расхода, механического перемещения и т. п.

По виду выходного параметра применяются измерительные преобразователи с механической, пневматической, электрической и другими величинами на выходе. Преобразование различных физических величин в механическое перемещение осуществляется сравнительно просто. Например, давление газа легко преобразуется в перемещение мембраны, изменение уровня — в перемещение выходного устройства поплавкового датчика, изменение температуры — в перемещение свободного конца биметаллической пластины и т. д. Механическое перемещение затем может быть преобразовано в пневматическую или электрическую величину.

Примером преобразователя перемещения в пневматическую величину может служить дроссельное устройство с соплом и заслонкой (рис. 4), в котором при изменении положения заслонки соответственно изменяется давление $p_{\text{вых}}$ на выходе преобразователя.

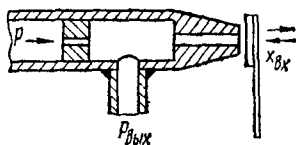


Рис. 4. Дроссельный преобразователь с соплом и заслонкой.

Наибольшее распространение в технике получили системы электроавтоматики и соответственно — преобразователи с электрической величиной на выходе. Это объясняется возможностью передавать электрические сигналы на значительные расстояния, преобразовывать их и производить с ними математические операции. К тому же многие физические величины можно либо непосредственно преобразовать в электрическую величину, либо сначала преобразовать в механическое перемещение, а затем — в электрическую величину. Поэтому ниже будут рассмотрены только преобразователи с электрической величиной на выходе.

Электроконтактные преобразователи осуществляют преобразование механических перемещений в замыкание или размыкание электрической цепи. Такие преобразователи в виде технологических контактов служат для выявления различных нарушений технологического процесса на трикотажных машинах, например для определения обрыва нити (рис. 5). Для контроля крайних положений органов машины применяются конечные выключатели, для контроля предельных значений уровня токопроводящей жидкости используются электроконтактные преобразователи в виде электродов.

Реостатные преобразователи применяются для измерения линейных и угловых перемещений. Здесь перемещение или поворот движка измерительного реостата l преобразуется в изменение активного сопротивления $r_{\text{вых}}$.

Реостатный преобразователь может быть включен в электрическую схему либо последовательно, как обычный реостат (рис. 6, а), либо параллельно, как делитель напряжения (рис. 6, б).

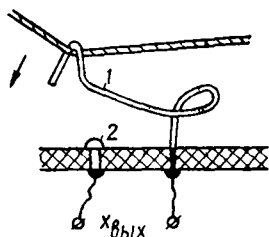


Рис. 5. Технологический контакт:

1 — подвижный; 2 — неподвижный.

В зависимости от конструкции реостатного преобразователя его статическая характеристика может быть плавной или ступенчатой (рис. 7).

Плавную статическую характеристику (кривая 3) имеют реостатные преобразователи струнного типа, выполненные в виде одинарной проволоки, по которой перемещается подвижный контакт.

Каркасные и ламельные реостатные преобразователи имеют ступенчатые статические характеристики (кривые 1 и 2). В каркасных преобразователях тонкая проволока (из

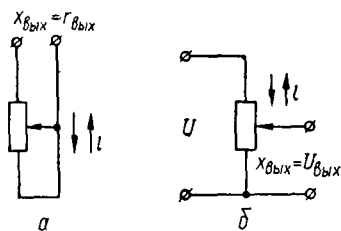


Рис. 6. Способы включения реостатных преобразователей.

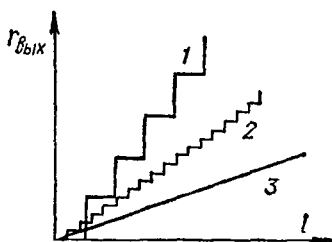


Рис. 7. Статические характеристики реостатных преобразователей.

константана, манганина) наматывается на специальный каркас. При перемещении скользящего контакта с одного витка на другой происходит ступенчатое изменение сопротивления $r_{\text{вых}}$. В ламельных преобразователях подвижный контакт перемещается по контактным ламелям, к которым подсоединены постоянные сопротивления.

Иногда реостатные преобразователи выполняют с профилированным каркасом для получения такой нелинейной

статической характеристики преобразователя, которая компенсирует заведомо известную нелинейность последовательно включенных элементов.

Тензометрические преобразователи служат для измерения усилий, деформаций, небольших перемещений. Для определения деформаций применяются наклеиваемые тензорезисторы. Они состоят (рис. 8) из нескольких зигзагообразных петель тонкой проволоки 1 (диаметром в несколько сотых долей миллиметра), наклеенных с предварительным натяжением на полоску тонкой бумаги 2. К концам проволоки припаиваются или привариваются выводные проводники 3.

Такой преобразователь наклеивается на испытываемую деталь, и при деформации детали происходит соответствующая деформация проволоки. Причем сопротивление проволоки $r = \frac{\rho l}{s}$ меняется за счет изменения ее суммарной длины l , площади поперечного сечения s , а также за счет некоторого изменения удельного сопротивления ρ , которое зависит от внутренних напряжений материала проволоки. В терморезисторах применяется проволока из материала с большим удельным сопротивлением и небольшим температурным коэффициентом сопротивления (например, константан).

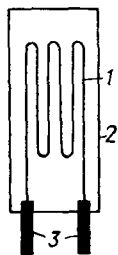


Рис. 8. Проволочный тензорезистор.

Наклеиваемые тензорезисторы могут быть выполнены также из тонкой константановой фольги травлением. К недостаткам проводниковых тензорезисторов относится их сравнительно низкая чувствительность. В этом отношении перспективны полупроводниковые тензопреобразователи, чувствительность которых в десятки раз выше. Однако они имеют большой коэффициент температурного сопротивления и недостаточно стабильны во времени.

Емкостные преобразователи представляют собой плоский или цилиндрический конденсатор, емкость которого изменяется в зависимости от изменений входной контролируемой величины.

Емкость конденсатора C зависит от расстояния между пластинами δ , площади пластин s и диэлектрической проницаемости ϵ среды между пластинами. Так, для плоского конденсатора

$$C = \frac{\epsilon s}{\delta}. \quad (4)$$

Следовательно, емкостные преобразователи могут применяться для измерения физических величин, функционально связанных с параметрами конденсатора δ , s и ϵ .

Преобразователи с переменным расстоянием между пластинами δ (рис. 9) используются для измерения небольших

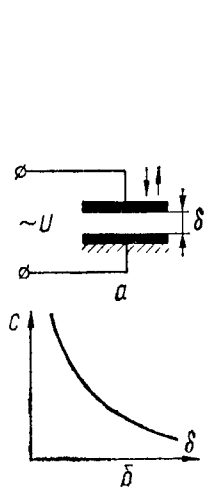


Рис. 9. Плоский емкостный преобразователь с переменным расстоянием между пластинами: а — схема преобразователя; б — статическая характеристика.

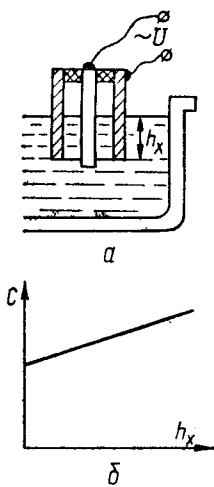


Рис. 10. Цилиндрический емкостный преобразователь с переменной диэлектрической проницаемостью: а — схема преобразователя; б — статическая характеристика.

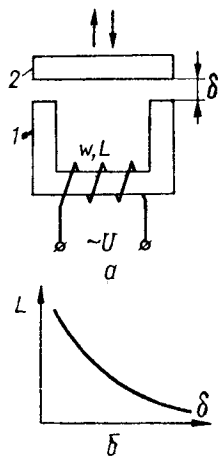


Рис. 11. Простой индуктивный преобразователь: а — схема преобразователя; б — статическая характеристика.

механических перемещений и толщины неэлектропроводных материалов.

Преобразователи с переменной площадью пластин s нашли применение для измерения угловых и линейных перемещений.

Для измерения уровня h_x неэлектропроводных жидкостей применяются цилиндрические емкостные преобразователи с переменной диэлектрической проницаемостью ϵ (рис. 10). Преобразователи с переменной ϵ широко используются для измерения влажности материалов, поскольку у влаги диэлектрическая проницаемость в десятки раз выше, чем у обезвоженной среды.

Емкость измерительных конденсаторов составляет обыч-

но тысячные доли микрофарады. Это требует для повышения выходной мощности специальных высокочастотных источников питания. При работе с емкостными преобразователями необходимо также применять меры для устранения влияния паразитных емкостей подводящих проводов.

Индуктивные преобразователи применяются для преобразования механических перемещений в изменение индуктивности.

Действие индуктивного преобразователя основано на зависимости индуктивности L от магнитного сопротивления системы R_m . Для простого индуктивного преобразователя (рис. 11) можно пренебречь магнитным сопротивлением ферромагнитных частей якоря 2 и сердечника 1, полагая, что все магнитное сопротивление дросселя сосредоточено в воздушном зазоре δ . Тогда

$$R_m \approx \frac{2\delta}{s_B \mu_B}, \quad (5)$$

где s_B — сечение воздушного зазора;

μ_B — магнитная проницаемость воздуха.

Если пренебречь рассеянием магнитного потока, то индуктивность L обмотки может быть определена через число витков w и магнитное сопротивление R_m :

$$L = \frac{w^2}{R_m}.$$

Отсюда получается зависимость L от величины воздушного зазора δ

$$L \approx \frac{w^2 \mu_B s_B}{2\delta}. \quad (6)$$

Индуктивные преобразователи обладают высокой чувствительностью и позволяют измерять очень малые (порядка долей микрона) перемещения.

Для измерения перемещений порядка 0,01—5 мм обычно используются дифференциальные индуктивные преобразователи с переменной длиной воздушного зазора (рис. 12, а), имеющие большую чувствительность и значительно меньшее электромагнитное усилие, действующее на якорь преобразователя; преобразователи с переменной площадью воздушного зазора позволяют измерять перемещения от 0,5 до 15 мм (рис. 12, б). Для измерения перемещений порядка десятков и сотен миллиметров используются соленоидные индуктивные преобразователи с разомкнутой магнитной системой (рис. 12, в).

Трансформаторные преобразователи. Действие трансформаторного преобразователя основано на изменении взаимной индуктивности M между обмотками w_1 и w_2 при пере-

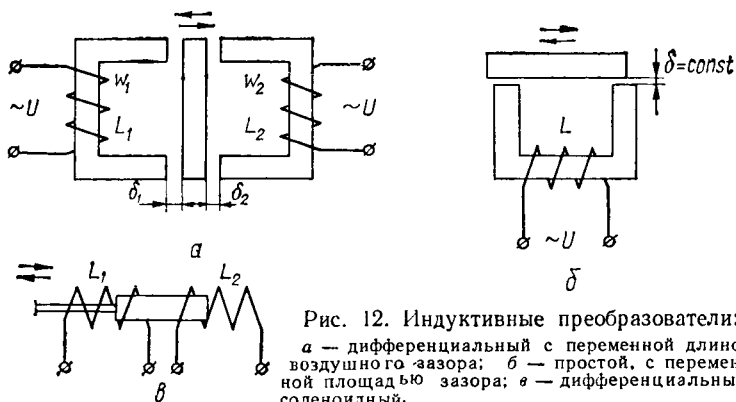


Рис. 12. Индуктивные преобразователи: а — дифференциальный с переменной длиной воздушного зазора; б — простой, с переменной площадью B^0 зазора; в — дифференциальный соленоидный.

мещении элементов магнитопровода (рис. 13, а):

$$M \approx \frac{w_1 w_2 \mu_B S_B}{2\delta} . \quad (7)$$

К первичной обмотке w_1 подводят переменное напряжение U от источника питания. При этом э. д. с., наведенная во вторичной обмотке w_2 , зависит от взаимной индук-

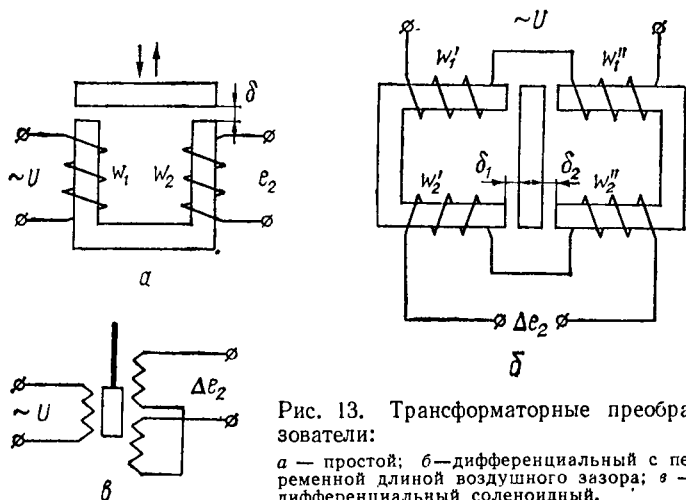


Рис. 13. Трансформаторные преобразователи: а — простой; б — дифференциальный с переменной длиной воздушного зазора; в — дифференциальный соленоидный.

тивности M , определяемой величиной воздушного зазора δ ,

$$e_2 = -M \frac{di_1}{dt}. \quad (8)$$

Обычно используют дифференциальные трансформаторные преобразователи с переменной длиной воздушного зазора (рис. 13, б) или преобразователи соленоидного типа (рис. 13, в).

Для измерения угловых перемещений применяются ферродинамические преобразователи. Такой преобразователь (рис. 14) имеет ферромагнитный сердечник 1 с цилиндрической роторной частью полюсных наконечников, обмотку возбуждения w , поворотную рамку 3 и дополнительный ферромагнитный сердечник 2.

Если плоскость рамки преобразователя совмещена с его нейтральной, то взаимная индуктивность M между обмоткой возбуждения и рамкой, а также э. д. с. e_2 равны нулю. При отклонении рамки от нейтрального положения в ней возникает переменная э. д. с. электромагнитной индукции, величина которой пропорциональна углу отклонения φ , а фаза зависит от направления отклонения.

Индукционные преобразователи осуществляют преобразование механической энергии в э. д. с. электромагнитной индукции. При изменении магнитного потока, пронизывающего обмотку, в ней наводится э. д. с. электромагнитной индукции

$$e = - \frac{d\psi}{dt}, \quad (9)$$

где ψ — потокосцепление обмотки, равное произведению числа витков w на величину магнитного потока Φ .

Характерной особенностью индукционных преобразователей является то, что изменение ψ происходит в результате воздействия измеряемой механической величины. При этом э. д. с. самоиндукции в выходной обмотке преобразователя пропорциональна либо скорости перемещения этой обмотки относительно магнитного потока возбуждения, либо скорости изменения магнитного потока, пронизывающего

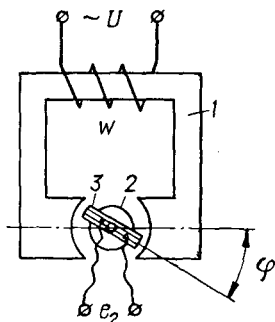


Рис. 14. Трансформаторный преобразователь с поворотной рамкой.

витки неподвижной обмотки. В последнем случае скорость изменения магнитного потока возбуждения зависит от скорости изменения магнитного сопротивления системы при движении элементов магнитопровода. Таким образом, индукционные преобразователи могут быть использованы для измерения угловой или линейной скорости.

Наибольшее распространение получили тахогенераторы постоянного и переменного тока для измерения скорости вращения. В тахогенераторах постоянного тока магнитный

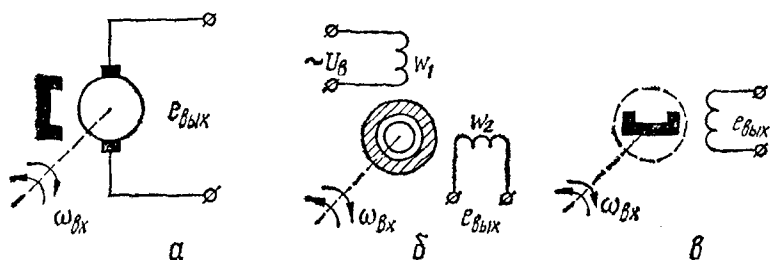


Рис. 15. Тахогенераторы:

а — постоянного тока; б — асинхронный; в — синхронный.

поток возбуждения создается либо постоянным магнитом (рис. 15, а), либо специальной статорной обмоткой, по которой проходит постоянный ток. Выходная обмотка размещается на роторе облегченной конструкции, и э. д. с., пропорциональная скорости вращения ротора ω , снимается со щеток коллектора.

Статор асинхронного тахогенератора (рис. 15, б) имеет две обмотки, оси которых расположены под углом 90° , а ротор представляет собой тонкостенный алюминиевый стакан, вращающийся в зазоре между статором и неподвижным ферромагнитным сердечником. Одна из обмоток статора w_1 питается от источника переменного тока U_B , с другой снимается выходная э. д. с. $e_{вых}$. При неподвижном роторе вихревые токи в нем вызывают магнитный поток, направленный навстречу магнитному потоку возбуждения и перпендикулярно оси выходной обмотки w_2 . Поэтому э. д. с. $e_{вых}$ равна нулю. При вращении ротора в поле обмотки возбуждения в нем генерируется э. д. с. движения, которая вызывает токи, направленные вдоль образующей роторного цилиндра. В результате образуется переменный магнитный поток, направленный по оси выходной обмотки. Этот поток

наводит переменную э. д. с. $e_{\text{вых}}$, пропорциональную скорости вращения ротора.

В синхронном тахогенераторе ротор представляет собой постоянный магнит. Выходная э. д. с. $e_{\text{вых}}$ такого генератора имеет амплитуду и частоту, пропорциональные скорости вращения ω .

Преобразование скорости движения в частоту импульсов можно осуществить с помощью индукционных преобразователей, действие которых основано на изменении магнитного сопротивления воздушного зазора в непольностью замкнутом ферромагнитном магнитопроводе. Пример такого преобразователя приведен на рис. 16. Подобные преобразователи используются также для определения характерных положений движущихся деталей технологических машин.

Фотоэлектрические преобразователи служат для преобразования величины светового потока в электрическую величину на выходе. В них используется явление фотоэлектрического эффекта, заключающееся либо в изменении сопротивления фотопреобразователей, либо в возникновении э. д. с. под действием внешнего излучения. В устройствах автоматики применяются вакуумные и газонаполненные фотоэлементы с внешним фотоэффектом, полупроводниковые фоторезисторы, фотодиоды, фототриоды, вентильные полупроводниковые фотоэлементы и др.

Общая схема использования фотоэлементов показана на рис. 17. От излучателя 1 через среду 2 свет падает на фотоэлемент 3, устанавливая определенное значение электрической выходной величины (фототока или фото-э. д. с.) $x_{\text{вых}}$. При постоянной пропускной способности среды измеряемой величиной является собственно световой поток. Такое применение фотоэлементов имеет место в фотометрах, оптических пирометрах, анализаторах спектра и т. п. В другом случае применения фотоэлементов световой поток излучателя постояен, а пропускная способность среды меняется. Изменение светового потока, падающего на

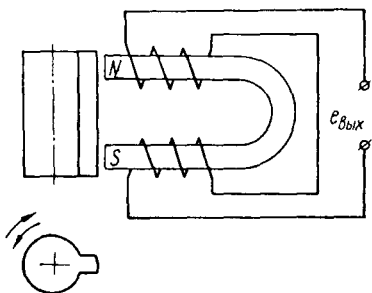


Рис. 16. Индукционный преобразователь скорости вращения в частоту импульсов.

фотоэлемент, производится путем открытия или закрытия доступа света на фотоэлемент (контроль обрыва нити, наличия дыр, подсчет изделий), плавного изменения сечения падающего луча (контроль перемещений, размеров), изменения прозрачности или отражающей способности и среды (контроль мутности, цветности, влажности газа по точке росы и т. п.).

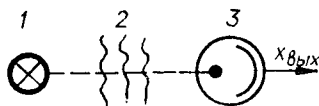


Рис. 17. Схема использования фотоэлементов.

из двух разнородных проводников (или полупроводников), спаянных на одном конце, который является рабочим и помещается в измеряемую среду с температурой θ_1 (рис. 18). За счет разности температур рабочего и свободных концов термопары $\theta_1 - \theta_2$ в ней возникает термоэ. д. с. $e_{\text{вых}}$. При постоянстве температуры θ_2 свободных концов выходная э. д. с. $e_{\text{вых}}$ определяется температурой рабочего конца термопары.

Наибольшее распространение получили следующие термопары: ТПП (платинородий — платина) — для измерения температуры от -20 до $+1300^\circ\text{C}$ (при длительном применении); ТХА (хромель — алюмель) — от -50 до $+1000^\circ\text{C}$; ТХК (хромель — копель) от -50 до $+600^\circ\text{C}$.

Для изоляции термоэлектродов друг от друга и защиты их от вредного воздействия окружающей среды в промышленных термопарах применяется специальная арматура, состоящая из электроизоляции и защитного кожуха.

Измерение температуры посредством терморезисторов основано на функциональной связи с температурой активного сопротивления проводников и полупроводников. Проволочные терморезисторы изготавливаются из чистых металлов: платины, меди, железа, никеля. При повышении температуры сопротивление металла возрастает. Для меди в пределах изменения температуры θ от -50 до $+180^\circ\text{C}$ существует линейная зависимость

$$R_\theta = R_0(1 + \alpha\theta), \quad (10)$$

контроль мутности, цветности, влажности газа по точке росы и т. п.).

Преобразователи температуры.

К этим преобразователям относятся термопары и терморезисторы. Простая термопара состоит

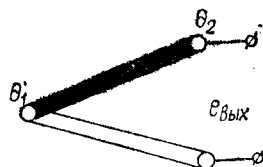


Рис. 18. Схема термопары.

где R_θ и R_0 — сопротивления при температурах соответственно θ и 0°C ;

$$\alpha = 4,26 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/\text{град}.$$

Для платины в интервале температур от 0 до $+650^\circ\text{C}$

$$R_\theta = R_0(1 + \alpha\theta + \beta\theta^2), \quad (11)$$

где

$$\alpha = 3,97 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/\text{град} \text{ и } \beta = -5,85 \cdot 10^{-7} \text{ } 1/\text{град}^2.$$

Проволока терморезистора наматывается на пластмассовый, керамический или слюдяной каркас и помещается в металлический защитный корпус.

Полупроводниковые терморезисторы, которые называются также термисторами, представляют собой смеси окислов различных металлов, спрессованные при высокой температуре. Форма термисторов самая разнообразная: цилиндры, диски, шайбы, бусинки. Обычно на концы полупроводника наращиваются электроды, затем он либо покрывается защитным слоем лака или эмали, либо помещается в защитный стеклянный или металлический баллон.

Активное сопротивление термисторов уменьшается с повышением температуры

$$R_T = Ae^{\frac{B}{T}}, \quad (12)$$

где A и B — постоянные полупроводника;

T — температура, $^\circ\text{K}$.

Статическая характеристика термистора имеет вид, показанный на рис. 19. Чувствительность термистора значительно выше, чем у проволочных терморезисторов. Наиболее распространенные типы термисторов (ММТ и КМТ) применяются для измерения температуры в интервале от -50 до $+180^\circ\text{C}$.

Электролитические преобразователи основаны на зависимости сопротивления раствора электролита от концентрации. Они применяются для измерения концентрации однокомпонентных водных растворов кислот, щелочей и солей. При низких концентрациях растворов существует примерно линейная зависимость удельной проводимости γ от концент-

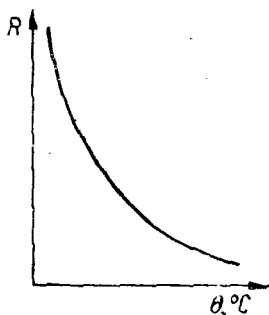


Рис. 19. Статическая характеристика термистора.

рации C . С возрастанием концентрации зависимость $\gamma(C)$ становится нелинейной и, как правило, имеет максимум (рис. 20). Поэтому электролитические преобразователи в виде двух электродов, помещаемых в измеряемую среду, используют для определения низких концентраций. Сопротивление преобразователя измеряется на переменном токе для устранения влияния поляризации. Характеристики преобразователя зависят от температуры раствора, что требует применения специальных методов для устранения температурной погрешности.

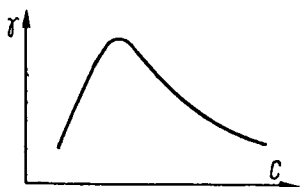


Рис. 20. Зависимость удельной проводимости от концентрации водных растворов.

При диссоциации воды образуются равные количества свободных водородных $[H^+]$ и гидроксильных $[OH^-]$ ионов, и концентрация каждого из них при температуре $22^\circ C$ равна 10^{-7} . При $[H^+] = [OH^-]$ раствор является нейтральным, при $[H^+] > [OH^-]$ — кислым и при $[H^+] < [OH^-]$ — щелочным.

Преобразователи рН служат для определения концентрации водородных ионов растворов. Этот показатель характеризует степень кислотности или щелочности раствора.

При диссоциации воды образуются равные количества свободных водородных $[H^+]$ и гидроксильных $[OH^-]$ ионов, и концентрация каждого из них при температуре $22^\circ C$ равна 10^{-7} . При $[H^+] = [OH^-]$ раствор является нейтральным, при $[H^+] > [OH^-]$ — кислым и при $[H^+] < [OH^-]$ — щелочным.

Для удобства определения величины концентрации водородных ионов в водных растворах пользуются отрицательным десятичным логарифмом этой концентрации

$$pH = -\lg [H^+].$$

Для чистой воды $pH = 7$. Для кислых растворов $pH < 7$ и для щелочных — $pH > 7$.

Принцип действия преобразователей рН основан на том, что при погружении в раствор определенных электродов возникает электрический потенциал на границе электрод — раствор, величина которого зависит от активной концентрации водородных ионов в растворе. Величина рН определяется измерением э. д. с. между измерительным 2 и сравнительным 3 электродами, погруженными в раствор 1 (рис. 21).

В качестве измерительных применяются стеклянные, водородные и сурьмяные электроды. Стеклянный электрод представляет собой трубку с тонкостенным шариком на ее конце, заполненную раствором с постоянным значением рН. Для снятия потенциала с внутренней поверхности шарика

имеется вспомогательный электрод из платиновой проволоки.

В качестве сравнительных используются каломельный или хлористосеребряный электроды. Каломельный электрод имеет корпус из органического стекла или полиэтилена, в который залита ртуть. Поверх ртути помещается слой каломельной пасты. Для защиты от воздействия температуры контролируемого раствора электрод помещается в трубку, заполненную насыщенным раствором хлористого калия и закрытую снизу пористой керамической прокладкой.

Следует отметить, что преобразователи рН обладают очень высоким выходным сопротивлением — до 10^3 Мом. Это усложняет задачу измерения э. д. с. между электродами, так как входное сопротивление измерительной схемы должно быть еще большим — порядка 10^5 Мом.

Все рассмотренные измерительные преобразователи с электрической величиной на выходе можно разделить на генераторные (активные) и параметрические (пассивные). В первых при изменении контролируемой величины возникает э. д. с., а во вторых изменяется один из электрических параметров преобразователя: сопротивление, индуктивность, емкость.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Исполнительные элементы устанавливаются на выходе автоматических устройств и воздействуют на управляющие органы объекта. В системах автоматического контроля они служат для индикации, сигнализации или регистрации измеряемого технологического параметра. Управляющее воздействие исполнительного элемента обычно заключается в

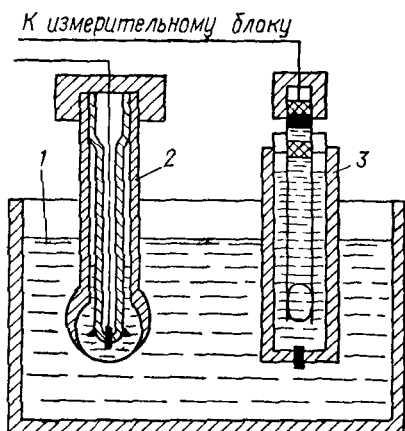


Рис. 21. Схема преобразователя рН.

изменении потока энергии или вещества, поступающего к объекту управления. Соответственно этому различают исполнительные элементы для управления механическими, пневмо-гидравлическими и электрическими цепями. Входной сигнал исполнительного элемента может быть также либо механическим, либо пневмо-гидравлическим, либо электрическим. При этом в ряде случаев в этих элементах осуществляется преобразование энергии, получаемой от

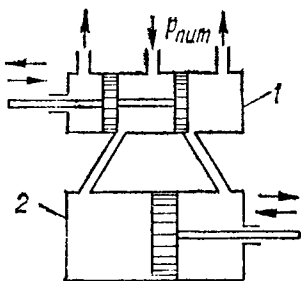


Рис. 22. Поршневой гидравлический серводвигатель с золотниковым распределением.

предыдущих элементов системы, а также усиление поступающего сигнала.

Для управления механическими цепями служат муфты, коробки передач, вариаторы, электромагниты, пневмогидравлические и электрические серводвигатели; для управления пневмогидравлическими цепями применяются клапаны, вентили, задвижки, золотники с механическим, пневмогидравлическим либо электрическим приводом;

для управления электрическими цепями — реле, контакторы, регулируемые реостаты, регулируемые трансформаторы, дроссели насыщения и т. п. Большинство из перечисленных элементов является известными типами приводных устройств, аппаратов и пневмогидравлической арматуры, широко применяемых не только в системах автоматики.

Для осуществления поступательного перемещения органов в механических цепях используются гидравлические и пневматические серводвигатели (мембранные и поршневые), а также электромагниты постоянного и переменного тока.

В поршневом гидравлическом серводвигателе с золотниковым распределением (рис. 22) при перемещении поршня золотника 1 изменяется степень открытия его окон и, следовательно, давление и расход жидкости, проходящей через золотник и рабочий цилиндр 2 двигателя. Золотник здесь выполняет функцию гидроусилителя мощности и преобразует перемещение поршня, требующее небольшой мощности, в разность давлений, действующих на силовой поршень в рабочем цилиндре. Аналогичный принцип действия имеет и пневматический поршневой серводвигатель.

В пневматическом мембранном серводвигателе (рис. 23) при изменении входного давления $p_{вх}$ прогибается мембрана 1 и перемещается шток 2. Определенная зависимость положения штока от входного давления устанавливается с помощью противодействующей пружины 3. Мембранные серводвигатели обычно komponуются вместе с регулирующими органами, например с клапанами.

Электромагниты по характеру перемещения якоря подразделяются на два основных вида: соленоидные — с линейным перемещением якоря и клапанные — с поворотным якорем.

Электромагнит соленоидного типа (рис. 24) состоит из катушки 1, неподвижного сердечника 3 и подвижного якоря 2. При пропускании тока по катушке под действием электромагнитного усилия происходит притягивание якоря к сердечнику. Электромагнит является элементом релейного действия, поскольку по мере приближения якоря к сердечнику электромагнитное усилие возрастает и поэтому якорь перемещается скачком.

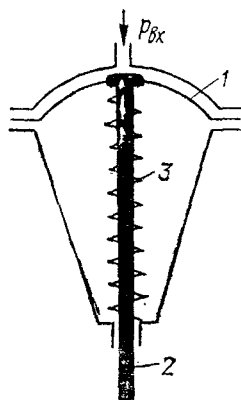


Рис. 23. Мембранный серводвигатель.

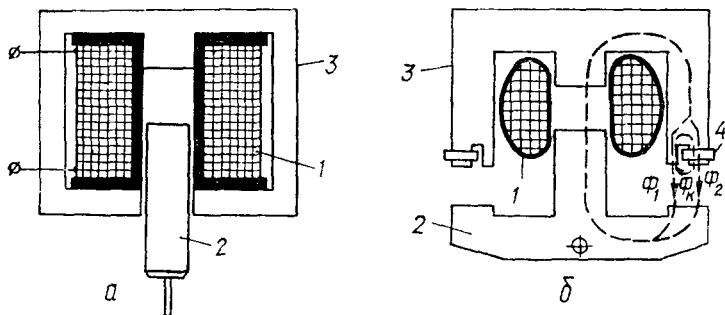


Рис. 24. Соленоидные электромагниты: а — постоянного тока; б — переменного тока.

Для устранения возможной вибрации якоря электромагнита переменного тока из-за пульсаций электромагнитной силы полюс сердечника раздваивается, и одна половина его охватывается медным короткозамкнутым витком 4 (рис. 24, б). В витке наводится э. д. с. и возникает ток,

который, в свою очередь, создает магнитный поток Φ_k . Этот поток накладывается на оба основных потока Φ_1 и Φ_2 и сдвигает их по фазе друг относительно друга на угол от 60° до 90° . Поэтому результирующее электромагнитное усилие, удерживающее якорь, никогда не падает до нуля. Для уменьшения потерь на вихревые токи и гистерезис сердечник и якорь электромагнита собираются из пластин листовой электротехнической стали.

Сервоэлектродвигатели. В устройствах автоматики наиболее часто используются сервоэлектродвигатели переменного тока.

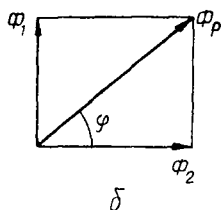
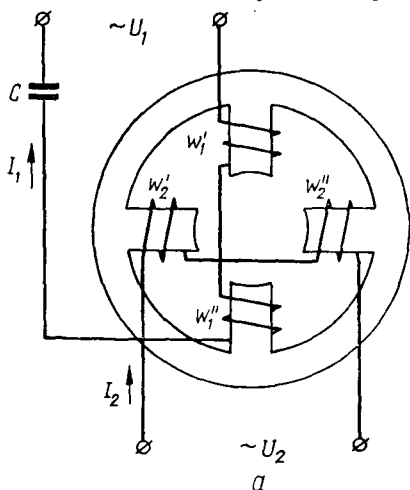


Рис. 25. Образование вращающегося магнитного поля статора двигателя переменного тока:

а — схема питания обмоток статора; б — пространственная диаграмма сложения потоков.

ного тока, питающиеся от однофазной сети. Вращающееся магнитное поле статора может быть получено сложением двух взаимно перпендикулярных переменных магнитных потоков Φ_1 и Φ_2 , сдвинутых по фазе на угол 90° за счет включения емкости C последовательно с одной из обмоток статора (рис. 25, а). При этом

$$\Phi_1 = \Phi_{1m} \sin \omega_0 t;$$

$$\Phi_2 = \Phi_{2m} \cos \omega_0 t.$$

Здесь Φ_{1m} и Φ_{2m} — амплитудные значения потоков; ω_0 — круговая частота напряжения питания.

Результирующий вектор магнитного потока $\Phi_p = \sqrt{\Phi_1^2 + \Phi_2^2}$ ориентирован в пространстве (рис. 25, б) под углом φ :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{\Phi_{1m}}{\Phi_{2m}} \operatorname{tg} \omega_0 t,$$

т. е. вращается с угловой скоростью ω_0 . Для реверсирования двигателя необходимо изменить направление тока в одной из обмоток статора. Роторы асинхронных двигателей выполняются в виде «беличьего колеса» либо в виде тонкостенного алюминиевого стакана. Вращающий момент возникает за счет взаимодействия индукционных токов, наводимых в роторе, с вращающимся магнитным полем статора. Причем из-за скольжения угловая скорость ротора ω меньше ω_0 .

Вращающий момент синхронного двигателя создается в результате взаимодействия вращающегося магнитного поля статора с явно выраженными полюсами ротора. Поэтому скорость ротора синхронного двигателя в установившемся режиме равна скорости вращения поля статора.

Многие сервоэлектродвигатели переменного тока имеют встроенные редукторы.

Реле применяются для скачкообразного изменения воздействий в цепях управления, сигнализации и связи. По виду входных физических величин, на которые реагирует реле, различают реле электрические, механические, тепловые, оптические и т. д. По виду управляемых цепей различают реле для управления электрическими, пневматическими, гидравлическими и другими цепями.

Реле содержит три обязательных элемента: воспринимающий орган, который воспринимает входные воздействия; исполнительный орган, осуществляющий скачкообразное изменение выходной величины; промежуточный орган, перерабатывающий и передающий воздействие от воспринимающего органа к исполнительному. Указанные органы могут быть либо явно выраженными, либо совмещенными друг с другом.

Из всего разнообразия типов реле в устройствах автоматики наибольшее распространение получили механические, тепловые и электрические реле. Примером механического может служить центробежное реле скорости, которое при достижении определенной угловой скорости вращающихся частей производит замыкание или размыкание электрического контакта.

Биметаллическое тепловое реле, применяемое обычно для защиты приводных асинхронных двигателей от перегрузок, содержит электронагревательный элемент, который включается в силовую цепь двигателя. При перегрузке двигателя тепло, выделяемое нагревательным элементом,

вызывает изгиб биметаллической пластины, которая своим концом воздействует на электроконтактный исполнительный орган.

Наиболее разнообразны электрические реле: электромагнитные, магнитоэлектрические, электромоторные, электронные и др.

Электромагнитные реле постоянного и переменного тока (рис. 26) содержат в своем составе электромагнит (клапанного либо соленоидного типа), якорь 3 которого при пропус-

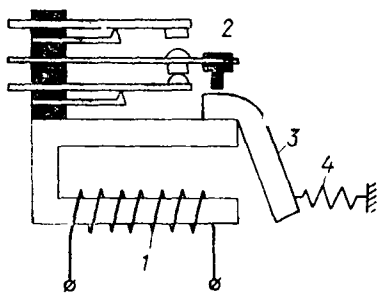


Рис. 26. Электромагнитное реле.

скании тока через катушку 1 воздействует на контактную систему 2 и замыкает или размыкает электрические цепи. В исходное состояние реле возвращается с помощью пружины 4. Контактная система реле может содержать несколько замыкающих и размыкающих контактов. Мощность, потребляемая катушкой реле, как правило,

в десятки и сотни раз меньше мощности коммутируемых цепей.

Электромагнитные реле, применяемые для переключения сравнительно мощных цепей тока, часто называют контакторами. Для управления в силовых цепях электродвигателей переменного тока используются магнитные пускатели. Пускатель состоит из одного (для нереверсивного управления) или двух (для реверсивного управления) контакторов и тепловых реле для защиты двигателя от перегрузок.

К электромагнитным реле постоянного тока, кроме нейтральных, относятся также поляризованные реле, у которых направление перемещения якоря зависит от полярности приложенного к катушке напряжения. Сердечник 1 поляризованного реле (рис. 27) содержит постоянный магнит 6, который поляризует реле, т. е. делает его чувствительным к направлению тока в обмотке 5. В зависимости от направления тока в сердечнике возникает магнитный поток, который в одном из воздушных зазоров цепи магнитопровода между якорем 4 и сердечником складывается с поляризующим магнитным потоком, а в другом вычитается. В результате якорь притягивается к определенному полюсу сердечника и замыкает контакт 2 или 4.

Поляризованные реле выполняются двух- и трехпозиционными. В двухпозиционном реле после обесточивания обмотки якорь находится в одном из крайних положений. Трехпозиционное реле получается, если имеется пружина, возвращающая якорь в среднее положение.

Для создания необходимой задержки времени в передаче воздействий от одного устройства к другому используются реле времени. По способу замедления различают реле времени с электрическим, механическим, электромеханическим замедлением и т. д. При электрических методах создания выдержки времени используются различные схемы, замедляющие нарастание или спадание токов в цепях. При использовании механического метода необходимая выдержка времени достигается с

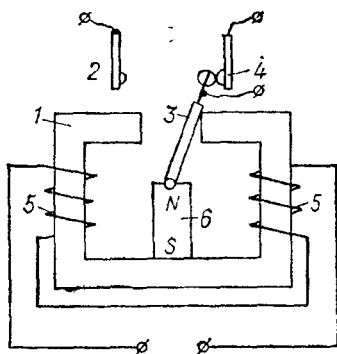


Рис. 27. Поляризованное электромагнитное реле.

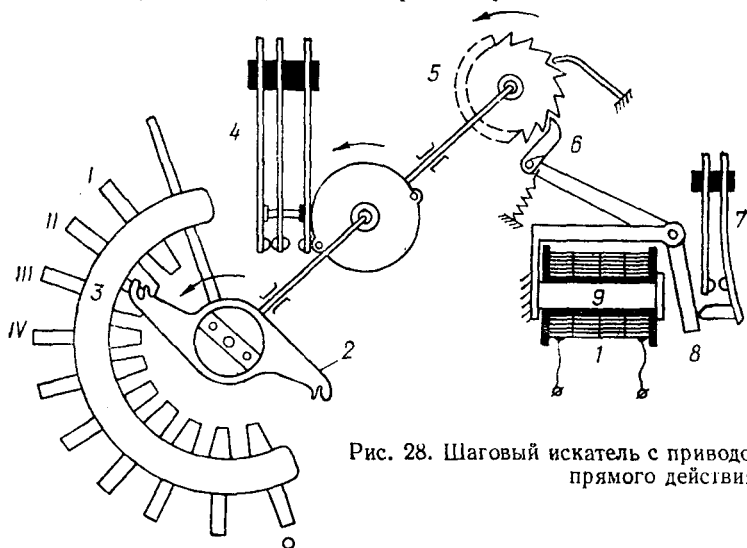


Рис. 28. Шаговый искатель с приводом прямого действия.

помощью часового механизма. Электромеханическое замедление осуществляется в моторных реле с помощью синхронных электродвигателей.

Шаговые искатели с электромагнитным приводом служат для поочередного подключения одной цепи к ряду других электрических цепей. В шаговом искателе с приводом прямого действия (рис. 28) при пропускании тока через катушку 1 электромагнита якорь 8 притягивается к сердечнику 9 и собачка 6 поворачивает храповое колесо 5 на один зуб. При этом контактные щетки 2 искателя перемещаются на один шаг по ламелям контактного поля 3. Следующее срабатывание электромагнита приводит к перемещению щеток еще на один шаг и т. д.

Во избежание холостого пробега искатель имеет две диаметрально расположенные щетки. После того как одна щетка сходит с последнего рабочего контакта, другая замыкается с первым рабочим контактом. Искатель может иметь несколько двойных или тройных щеток и столько же контактных полей с числом ламелей от 10 до 50.

Контакты 7 самопрерывателя замыкаются и размыкаются при каждом срабатывании электромагнита и служат для автоматического возврата шагового искателя в исходное положение. Контакты 4 используются в цепях сигнализации начального положения щеток.

МАГНИТНЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Для усиления электрических сигналов в системах автоматики широко применяются магнитные усилители. Действие их основано на изменении индуктивного сопротивления

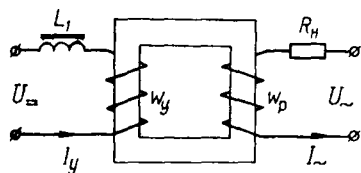


Рис. 29. Схема дросселя насыщения с постоянным подмагничиванием.

обмоток переменного тока за счет подмагничивания дросселя постоянным током управляющей обмотки.

Рассмотрим работу дросселя насыщения (рис. 29) с постоянным подмагничиванием, который имеет рабочую обмотку с числом витков w_p и обмотку управления w_y . Рабочая обмотка последовательно с нагрузочным сопротивлением R_n подключена к источнику питания переменного тока $U_~$ с круговой частотой ω . Управляющим сигналом является постоянный ток I_y , проходящий через обмотку w_y . Дейст-

вующий ток I_y , проходящий через обмотку w_y . Дейст-

вующее значение тока I_{\sim} в цепи нагрузки

$$I_{\sim} = \frac{U_{\sim}}{\sqrt{(R_H + R)^2 + (\omega L)^2}}, \quad (13)$$

где R и L — активное сопротивление и индуктивность рабочей обмотки.

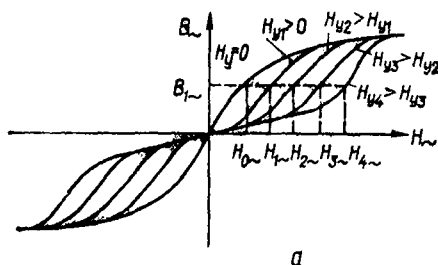
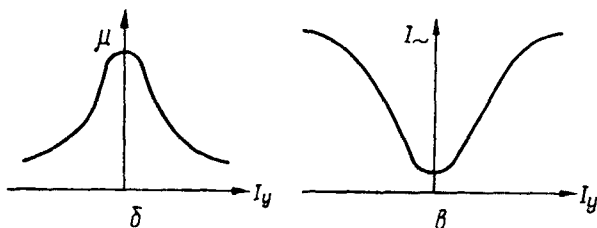


Рис. 30. Характеристики дросселя при изменении подмагничивания:
 а — кривые намагничивания; б — магнитная проницаемость в функции тока управления; в — статическая характеристика.



Из уравнения (13) следует, что ток в цепи нагрузки I_{\sim} зависит от индуктивности L рабочей обмотки, которая выражается

$$L = \frac{\mu \omega_p^2 s}{l}, \quad (14)$$

где μ — магнитная проницаемость сердечника;
 l и s — длина сердечника и площадь его сечения.

Зависимость магнитной проницаемости μ от переменного магнитного потока и величины постоянного подмагничивания H_y можно установить по кривым намагничивания, отражающим функциональную связь между индукцией V_{\sim} в сердечнике и напряженностью H_{\sim} переменного магнитного поля. По мере изменения напряженности H_y , пропорциональной току управления I_y , кривая намагничивания смещается относительно основной кривой намагничивания (при $H_y = 0$), как это показано на рис. 30, а.

При этом магнитная проницаемость μ , равная

$$\mu = \frac{B_{\sim}}{H_{\sim}},$$

уменьшается, так как одному и тому же значению B_{\sim} соответствуют увеличивающиеся значения H_{\sim} (от $H_{0\sim}$ до $H_{3\sim}$). Зависимость μ от I_y показана на рис. 30, б.

Уменьшение магнитной проницаемости приводит к уменьшению индуктивности рабочей обмотки, в результате чего увеличивается ток в нагрузке. Таким образом, увеличение тока управления I_y вызывает увеличение переменного тока в нагрузке I_{\sim} , и статическая характеристика дросселя насыщения имеет вид, показанный на рис. 30, в. При $I_y = 0$ ток в нагрузке минимален, но не равен нулю.

Дроссель насыщения может служить простейшим магнитным усилителем мощности, поскольку изменение мощности переменного тока в нагрузке оказывается значительно

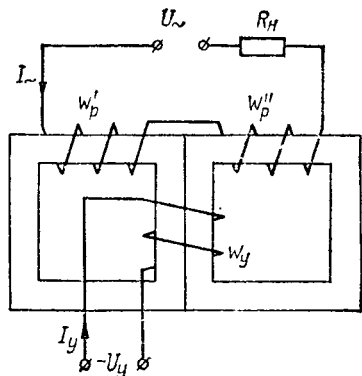


Рис. 31. Схема дроссельного магнитного усилителя.

но большим, чем мощность управления постоянным током.

Приведенная простейшая схема (см. рис. 29) магнитного усилителя практически не применяется, так как в обмотке управления w_y наводится, как во вторичной обмотке трансформатора, э. д. с., в результате чего переменный ток протекает через источник постоянного напряжения. Величина этого тока может быть снижена включением в цепь управления большой индуктивности L_1 . Последняя увеличивает инерционность обмотки управления, а следовательно, и усилителя в целом.

Отмеченные недостатки значительно ослабляются при использовании трехстержневого сердечника (рис. 31). При этом э. д. с., наводимые в обмотке управления w_y от каждой из последовательно включенных рабочих обмоток w_p' и w_p'' , направлены навстречу друг другу и взаимно уничтожаются. Точнее, полная взаимная компенсация получается лишь при $I_y = 0$.

При $I_y \neq 0$ форма кривой тока I_{\sim} искажается из-за нелинейности кривой намагничивания и в ней появляются четные гармонические составляющие. В этом случае в обмотке управления взаимно компенсируются основная и все нечетные гармоники наводимых э. д. с. переменного тока. Однако амплитуда четных гармоник обычно во много раз меньше амплитуды основной гармоники, и дополнительная индуктивность для ограничения переменной составляющей тока в обмотке управления, как правило, не требуется.

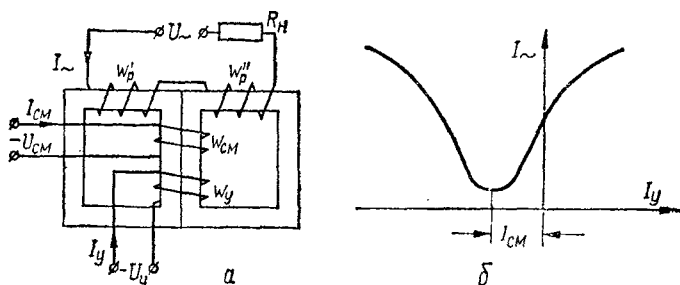


Рис. 32. Дроссельный магнитный усилитель со смещением:
а — схема; б — статическая характеристика.

Магнитный усилитель, показанный на рис. 31, одинаково реагирует на оба направления тока управления, т. е. имеет статическую характеристику, симметричную относительно оси ординат (рис. 30, в). Чувствительность магнитного усилителя к направлению тока управления может быть достигнута введением дополнительной обмотки смещения w_{cm} , питаемой от вспомогательного стабилизированного источника постоянного тока U_{cm} (рис. 32).

Для увеличения коэффициента усиления в магнитных усилителях применяют положительную обратную связь. Схема дроссельного усилителя с внешней обратной связью показана на рис. 33, а. Выпрямленный выходной ток пропускается через специальную обмотку обратной связи $w_{o.c.}$, которая расположена на том же стержне сердечника, где и обмотка управления w_y . В создании подмагничивания участвует не только ток управления, но и выпрямленный выходной ток.

Направление тока в обмотке обратной связи не зависит от направления тока управления. Поэтому обратная связь оказывается положительной только при одном направлении тока управления, когда потоки обмоток управления и

обратной связи складываются. При другом направлении тока управления указанные потоки вычитаются, и обратная связь становится отрицательной.

На рис. 33, б показано построение статической характеристики магнитного усилителя с обратной связью. Для этого используется статическая характеристика усилителя

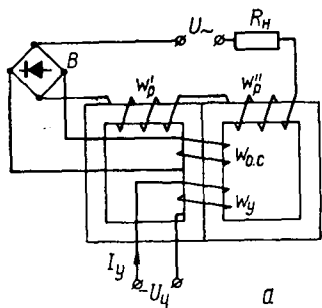
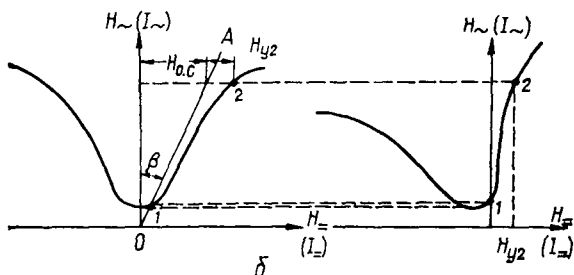


Рис. 33. Дроссельный магнитный усилитель с обратной связью: а — схема; б — построение статической характеристики.



без обратной связи и характеристика обратной связи — зависимость напряженности поля обратной связи $H_{o.c}$ от напряженности переменного магнитного поля H_{\sim} .

Характеристика обратной связи может быть выражена прямой линией (луч OA), проведенной под углом β к вертикальной оси. Причем $\beta = \text{arctg } k_{o.c}$, так как

$$H_{o.c} = k_{o.c} H_{\sim}, \quad (15)$$

где $k_{o.c} = \frac{\omega_{o.c}}{\omega_p}$ — коэффициент обратной связи.

Характеристика магнитного усилителя с обратной связью получается несимметричной: ее правая ветвь в результате действия положительной обратной связи имеет значительно большую крутизну, чем левая ветвь, для которой обратная связь отрицательна.

При увеличении коэффициента обратной связи может наступить релейный режим работы магнитного усилителя.

Наряду с внешней обратной связью с использованием дополнительной обмотки в магнитных усилителях с самонасыщением применяется внутренняя обратная связь, при которой не требуется дополнительных обмоток. Внутренняя положительная обратная связь создается выпрямлен-

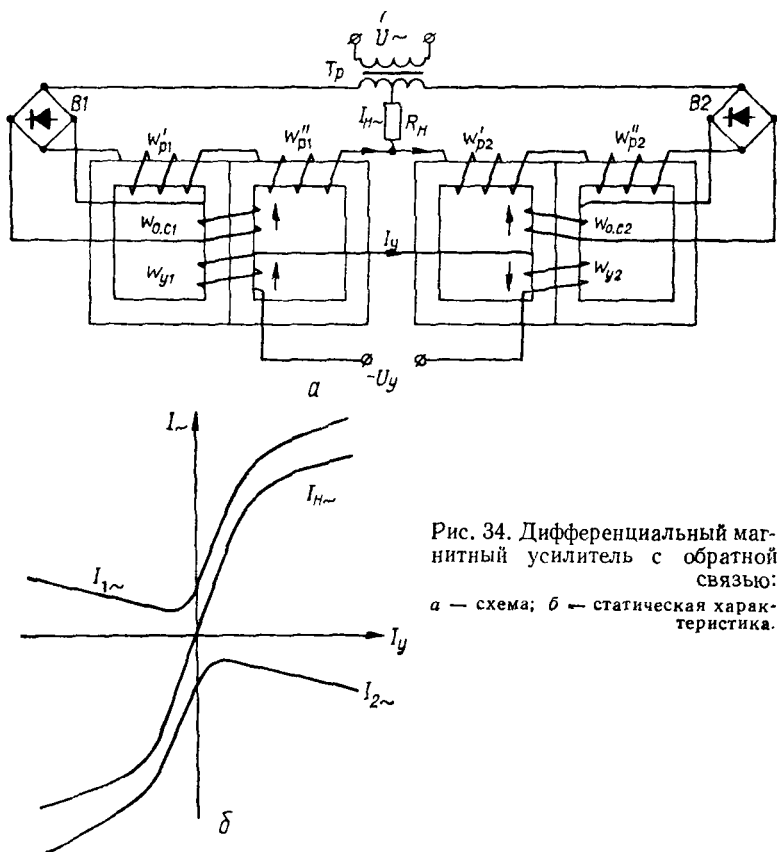


Рис. 34. Дифференциальный магнитный усилитель с обратной связью:
 а — схема; б — статическая характеристика.

ным током рабочей обмотки, в которую с этой целью включаются два вентиля при двухполупериодном выпрямлении и один — при однополупериодном выпрямлении. Если управляющий ток равен нулю, сердечник насыщается выпрямленным пульсирующим током рабочей обмотки и напряжение на нагрузке максимально. С увеличением управляющего тока, действующего навстречу рабочему, выходное

напряжение снижается и при некотором предельном токе управления достигает минимума.

В системах автоматики часто используются двухтактные (реверсивные) магнитные усилители, у которых при отсутствии управляющего тока выходной ток также равен нулю, а изменение направления управляющего тока сопровождается опрокидыванием фазы (на 180°) выходного тока.

На рис. 34 представлен дифференциальный магнитный усилитель с обратной связью, который состоит из двух простых идентичных усилителей, соединенных таким образом,

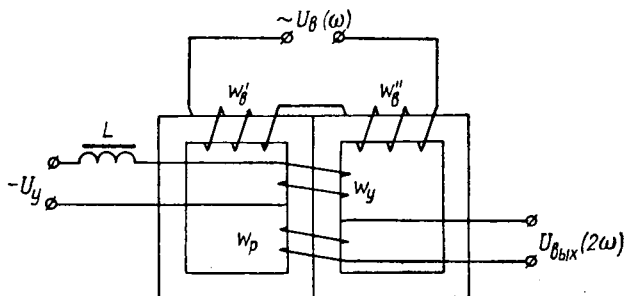


Рис. 35. Схема магнитного усилителя напряжения с удвоением частоты.

что в сопротивлении нагрузки ток I_{\sim} равен разности выходных токов каждого из простых усилителей $I_{1\sim}$ и $I_{2\sim}$.

Выше указывалось, что при подмагничивании дросселя в обмотке управления, расположенной на среднем стержне трехстержневого сердечника, наводится э. д. с. четных гармоник (в основном второй гармоники), пропорциональная величине входного сигнала. Этот эффект находит практическое использование в магнитных усилителях с удвоением частоты выходного напряжения. Схема такого усилителя напряжения показана на рис. 35. Выходная обмотка w_p усилителя вместе с обмоткой управления w_y располагается на среднем стержне сердечника. К источнику переменного напряжения U_{\sim} с частотой ω подключены обмотки возбуждения w'_g и w''_g . Обмотка управления имеет сравнительно малое число витков и подключается к источнику управляющего напряжения через дроссель L для уменьшения тока четных гармоник. Выходная обмотка w_p имеет большое число витков для увеличения наводимой в ней э. д. с. удвоенной частоты.

ЭЛЕКТРОННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Под электронным усилителем понимают устройство, действующее таким образом, что малые изменения электрической величины на его входе приводят к значительно большим изменениям сигнала на выходе. Входной и выходной сигналы в усилителях наиболее распространенных электронных устройств автоматики изменяются во времени по одному и тому же закону. Эти усилители строятся на электронных лампах с управляющими сетками и полупроводниковых триодах. Причем, несмотря на существенные преимущества полупроводниковых усилителей, в устройствах автоматики достаточно широко используются усилители на электронных лампах.

Электронные усилители классифицируются по назначению (усилители напряжения, тока, мощности), рабочему диапазону частот (низкочастотные, высокочастотные, широкополосные, избирательные), виду межкаскадных связей (резистивно-емкостные и трансформаторные) и другим признакам. В практических устройствах обычно используются многокаскадные усилители.

На рис. 36 изображена схема однокаскадного резистивно-емкостного лампового усилителя, включенного по схеме с общим катодом. Подлежащий усилению сигнал $U_{вх}$ подается через конденсатор C_c на сетку лампы L . Конденсатор C_c необходим для предотвращения протекания тока через источник входного сигнала от постоянного напряжения автоматического смещения U_c , которое обеспечивается включением в цепь катода лампы цепочки R_k, C_k . Автоматическое отрицательное смещение на сетке лампы создает режим ее работы с минимальными нелинейными искажениями. Источник анодного питания E_a служит для создания анодного тока I_a , величина которого зависит от изменения входного сигнала. Резистор анодной нагрузки R_a обеспечивает динамический режим работы лампы, при котором анодное напряжение U_a равно разности напряжений источника E_a анодного питания и падения напряжения на анодной нагрузке R_a :

$$U_a = E_a - I_a R_a. \quad (16)$$

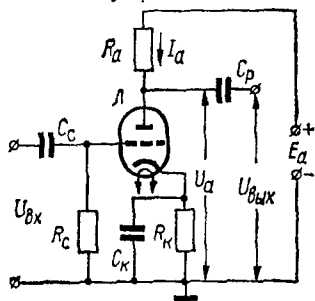


Рис. 36. Схема резистивно-емкостного лампового усилителя напряжения.

Угол наклона линии нагрузки AB , проведенной на графике анодных характеристик триода (рис. 37), зависит от величины R_a . Обычно при использовании в качестве усилительной лампы триода выбирают $R_a = (2 \div 4) R_i$, где R_i — внутреннее сопротивление лампы. В этом случае коэффициент усиления k каскада по напряжению, определяемый выражением

$$k = \mu \frac{R_a}{R_a + R_i}, \quad (17)$$

равен $k = (0,65 \div 0,8) \mu$,

где μ — коэффициент усиления лампы, показывающий, во сколько раз эффективнее влияют на анодный ток изменения сеточного потенциала, чем такие же по величине изменения анодного потенциала.

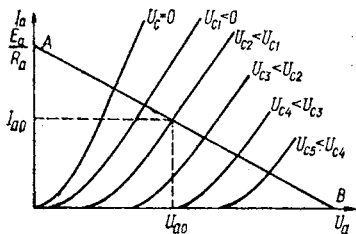


Рис. 37. Анодные характеристики триода.

При использовании в качестве усилительной лампы пентода $R_a = (0,05 \div 0,15) R_i$ и $k = (0,05 \div 0,15) \mu$.

Параллельно цепи сетка — катод в усилительном каскаде (рис. 36) включен резистор R_c (величина его в пределах $0,5—2 \text{ Мом}$), который необходим для передачи напряжения отрицательного смещения на сетку лампы. Через него стекают также электроны, попадающие на сетку с катода. При отсутствии R_c лампа со временем могла бы оказаться запертой этими электронами.

При отсутствии входного сигнала в анодной цепи лампы протекает анодный ток покоя I_{a_0} (рис. 37), определяемый напряжением смещения $U_{см}$. Этому току соответствует падение напряжения U_{R_0} на сопротивлении R_a

$$U_{R_0} = I_{a_0} R_a,$$

а также анодное напряжение

$$U_{a_0} = E_a - I_{a_0} R_a.$$

При подаче на вход усилителя переменного напряжения $U_{вх}$ анодный ток начинает изменяться. Повторяя форму изменения входного сигнала, падение напряжения на R_a будет изменяться в фазе с входным напряжением, а напряжение U_a на аноде лампы — в противофазе, что объясняется уравнением электрического равновесия $E_a = U_a + I_a R_a$. Выходное напряжение $U_{вых}$, снимаемое через разделитель-

ный конденсатор C_p с анодной цепи лампы, в несколько раз превышает входное напряжение, что и составляет сущность процесса усиления.

Широкое применение в автоматике в последнее время находят и полупроводниковые усилители, обладающие рядом существенных преимуществ.

Из трех типов усилительных каскадов на полупроводниковых триодах (с общим эмиттером, общей базой и общим коллектором) наибольшее распространение получили схемы усилителей с общим эмиттером.

На рис. 38 приведена типовая схема усилительного каскада с общим эмиттером. Входное напряжение $U_{вх}$ подается между базой и эмиттером полупроводникового триода ПП, а выходное напряжение $U_{вых}$ снимается между коллектором и эмиттером. Эмиттер является общим для входной и выходной цепей. E_k — источник питания полупроводникового триода.

Делитель напряжения $R1$ и $R2$ обеспечивает ток базы, определяющий величину тока покоя коллекторной цепи. Когда отсутствует входной сигнал, в цепи базы протекает постоянный ток $I_{б0}$, а в цепи коллектора соответственно — $I_{к0}$. Напряжение между коллектором и эмиттером

$$U_k = -(E_k - I_{к0} R_k), \quad (18)$$

где R_k — сопротивление коллекторной нагрузки.

При подаче переменного входного сигнала $U_{вх}$ начинает изменяться ток базы, что вызывает изменение тока коллектора. Это, в свою очередь, создает пульсирующее падение напряжения на сопротивлении резистора R_k . Изменение падения напряжения на нагрузке R_k , соответствующее закону изменения входного сигнала, приводит к изменению напряжения между коллектором и эмиттером. Выходное напряжение $U_{вых}$, снимаемое с коллектора через разделительный конденсатор C_p , значительно превышает входное напряжение по амплитуде, что обуславливается усиленным свойством полупроводникового триода.

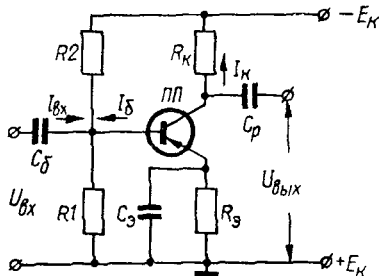


Рис. 38. Схема полупроводникового усилителя напряжения с общим эмиттером.

Анализ работы полупроводникового усилителя так же, как и лампового, может быть произведен по вольт-амперным входным и выходным характеристикам $I_{\delta}(U_{\delta})$, $I_{\kappa}(I_{\delta})$ и $U_{\kappa}(I_{\kappa})$, показанным на рис. 39. Линия нагрузки AB на графике выходных характеристик описывается линейным

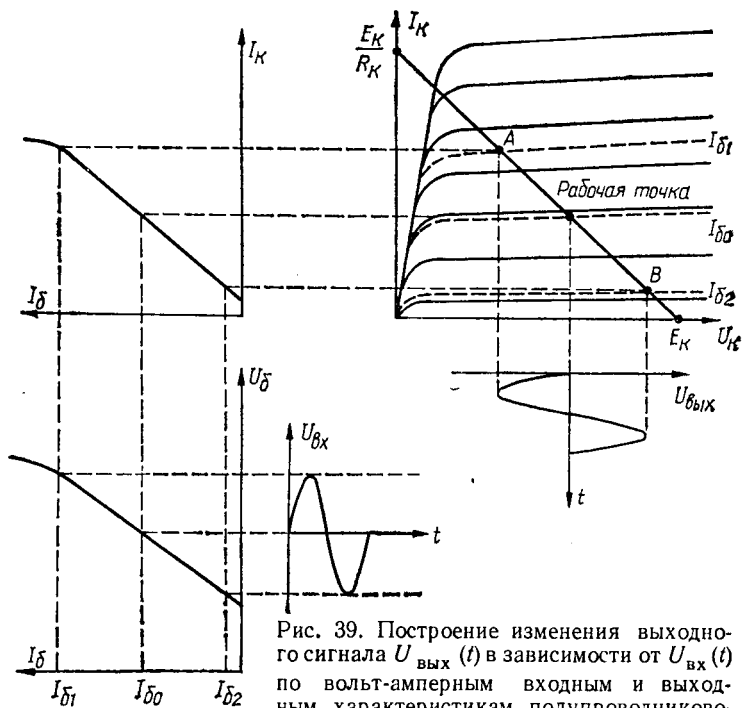


Рис. 39. Построение изменения выходного сигнала $U_{\text{вых}}(t)$ в зависимости от $U_{\text{вх}}(t)$ по вольт-амперным входным и выходным характеристикам полупроводникового триода.

уравнением $I_{\kappa}R_{\kappa} = E_{\kappa} + U_{\kappa}$. Построение кривой $U_{\text{вых}}(t)$ в зависимости от входного сигнала $U_{\text{вх}}(t)$ очевидно из рисунка.

Существенным недостатком полупроводникового усилителя является зависимость его параметров от температуры. Поэтому необходимым условием в работе усилителя является применение одной из схем температурной стабилизации (эмиттерной, коллекторной или комбинированной). В рассматриваемом усилителе используется эмиттерная температурная стабилизация. С повышением температуры увеличивается ток коллектора и соответственно падение

напряжения на сопротивлении R_3 (рис. 38), направленное навстречу входному сигналу; результирующее отрицательное напряжение на базе транзистора при этом уменьшается, что, в свою очередь, вызывает уменьшение тока базы и, следовательно, тока коллектора.

ЭЛЕКТРОННЫЕ И ФОТОЭЛЕКТРОННЫЕ КОНТАКТНЫЕ РЕЛЕ

В автоматических устройствах находят применение электронные контактные и бесконтактные реле. Электронное контактное реле представляет собой сочетание электронного усилителя и электромагнитного реле. Применение усилителя позволяет значительно повысить чувствительность реле, которое при ничтожно малой мощности входного сигнала способно своими контактами управлять достаточно мощными выходными цепями. Однако в таких реле сохраняются подвижные части и контакты. Быстродействие их ограничивается временем работы электромагнитного реле. Этим недостатком не обладают получившие также широкое распространение бесконтактные электронные и полупроводниковые схемы релейного действия. Такие схемы отличаются скачкообразным изменением выходной величины (тока или напряжения) в нагрузке при плавном изменении входного сигнала, т. е. имеют релейную характеристику. Примером бесконтактного электронного реле может служить триггер, работа которого будет рассмотрена ниже (см. «Импульсные устройства»).

На рис. 40 приведена схема простейшего электронного контактного реле с использованием полупроводникового триода ПП. Входное напряжение $U_{вх}$ вызывает в цепи базы ток $I_б$, равный

$$I_б = \frac{U_{вх}}{R_{вх} + R} \approx \frac{U_{вх}}{R}, \quad (19)$$

где $R_{вх}$ — входное сопротивление полупроводникового триода, которое обычно много меньше величины сопротивления резистора R .

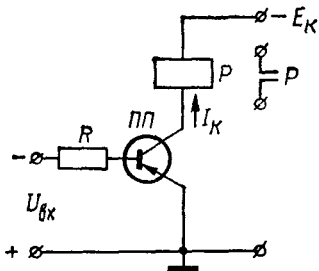


Рис. 40. Схема электронного контактного реле.

Ток базы, в свою очередь, вызывает ток коллектора I_k , протекающий через обмотку электромагнитного реле P ,

$$I_k = k_i I_b,$$

где k_i — коэффициент усиления по току.

Значения коэффициента усиления k_i и сопротивления R выбираются таким образом, что при входном напряжении, равном напряжению срабатывания ($U_{вх} = U_{ср}$), ток кол-

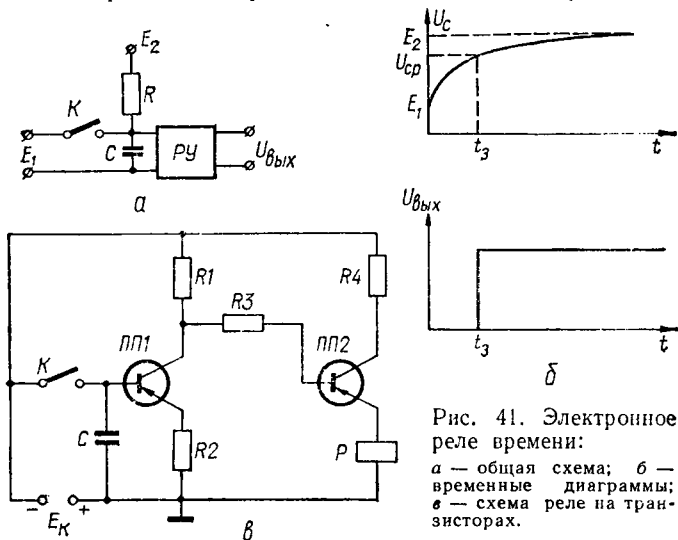


Рис. 41. Электронное реле времени:
 а — общая схема; б — временные диаграммы;
 в — схема реле на транзисторах.

лектора равен току срабатывания электромагнитного реле, т. е. $I_k = I_{ср}$.

В электронном реле времени временной интервал преобразуется в напряжение, которое вызывает срабатывание релейной схемы. Для такого преобразования чаще всего используют напряжение заряда конденсатора от источника питания через большое сопротивление зарядного резистора. Схема и временные диаграммы работы электронного реле приведены на рис. 41. При размыкании ключа K происходит заряд конденсатора C от источника питания E_2 через резистор R . Напряжение на конденсаторе C возрастает от значения $U_C = E_1$ по экспоненте с постоянной времени $\tau = RC$. Спустя некоторое время, равное времени задержки реле, т. е. в момент t_3 напряжение на конденсаторе становится равным $U_{ср}$, в результате чего релейный усилитель PY срабатывает. Время t_3 задержки реле, т. е. время меж-

ду моментами размыкания ключа и срабатывания реле, можно определить исходя из уравнения напряжения на конденсаторе U_C

$$U_C = E_1 + (E_2 - E_1) (1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (20)$$

При $t = t_3$ $U_C = U_{\text{ср}}$. Тогда

$$t_3 = RC \ln \frac{E_2 - E_1}{E_2 - U_{\text{ср}}}. \quad (21)$$

Таким образом, выдержка времени пропорциональна постоянной времени цепи заряда конденсатора RC . Входное сопротивление релейной схемы должно быть много больше сопротивления зарядного резистора R . Схема релейного усилителя может быть реализована на электронных лампах, полупроводниковых триодах, тиратронах.

Схема реле времени, собранного на транзисторах $ПП1$ и $ПП2$, приведена на рис. 41, в. После предварительного включения ключа K и его последующего размыкания конденсатор C начинает разряжаться. При этом постепенно уменьшается отрицательный потенциал на базе транзистора $ПП1$ и соответственно его коллекторный ток. В результате возрастает коллекторный ток транзистора $ПП2$ до значения тока срабатывания реле R .

В фотоэлектронных реле, или просто фотореле, входной величиной является световой поток. Срабатывание выходного реле происходит при определенном световом потоке, равном $\Phi_{\text{ср}}$, а отпускание — соответственно при $\Phi_{\text{от}}$.

В простейшем фотореле (рис. 42, а) фоторезистор ΦP включен последовательно с обмоткой высокоомного электромагнитного реле. Темновое сопротивление фоторезистора велико (около $0,5 \text{ Мом}$), поэтому ток в цепи реле недостаточен для его срабатывания. При освещении фоторезистора его сопротивление уменьшается в сотни раз, ток резко увеличивается и реле срабатывает. Для повышения четкости

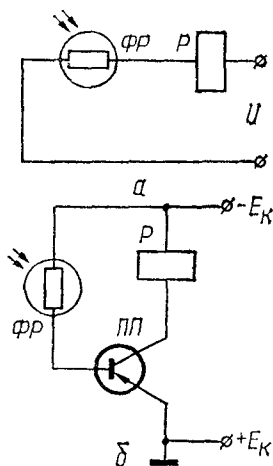


Рис. 42. Схема фотореле с фоторезисторами:
а — без усилителя; б — с полупроводниковым усилителем.

работы фотореле, а также его чувствительности фотоэлемент включают в схему релейного действия.

На рис. 42, б приведена схема фотореле с полупроводниковым усилителем. Фоторезистор ΦP установлен в цепи базы, а обмотка электромагнитного реле P — в цепи коллектора транзистора $ПП$.

В схемах фотореле применяются также фотоэлементы с внешним фотоэффектом, фотоэлементы полупроводниковые, фотодиоды, фототранзисторы и др.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ

Электронные генераторы — это преобразователи энергии постоянного тока в энергию электрических колебаний необходимой формы. По форме генерируемых колебаний электронные генераторы делятся на генераторы гармонических колебаний и генераторы релаксационных колебаний.

По режиму работы различают генераторы с независимым возбуждением и самовозбуждением (автогенераторы).

Генераторы гармонических колебаний с независимым возбуждением представляют собой высокочастотные усилители мощности, у которых сигнал управления поступает от внешнего источника. Они применяются там, где требуется особо высокая стабильность

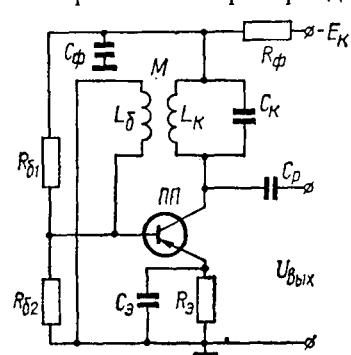


Рис. 43. Схема LC -генератора с самовозбуждением.

частоты. У генераторов с самовозбуждением сигналы управления возникают внутри системы.

Автогенераторы широко применяются в измерительных устройствах, устройствах автоматики, вычислительной техники и пр.

В генераторах гармонических колебаний низкой частоты (до 20 кГц) применяются резисторно-емкостные цепи положительной обратной связи (RC -генераторы). На более высоких частотах избирательный элемент генератора выполняется на резонансных контурах (LC -генераторы).

Схема полупроводникового LC -генератора с самовозбуждением представлена на рис. 43. Здесь транзистор выполня-

ет роль усилительного элемента. Синусоидальную форму колебаний обеспечивает резонансный контур, состоящий из катушки индуктивности L_k и емкости конденсатора C_k . Эквивалентное сопротивление контура, являющееся нагрузкой коллекторной цепи, будет чисто активным и максимальным только на частоте $f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}}$. На частотах, отличных от резонансной, сопротивление контура имеет реактивный характер и малую величину.

Таким образом, падение напряжения на контуре определяется активным сопротивлением контура и амплитудой тока резонансной частоты, на которую настроен контур. Чтобы колебания были незатухающими, необходимо с частотой f_p подавать в контур энергию, не меньшую рассеиваемой на активном сопротивлении контура. Подача такой энергии осуществляется с помощью цепи обратной связи,

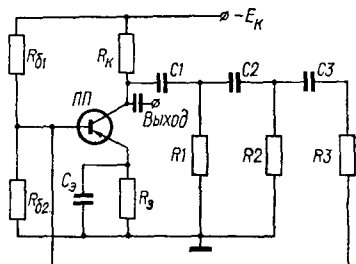


Рис. 44. Схема RC -генератора с самовозбуждением.

образованной катушкой индуктивности L_6 , индуктивно связанной с L_k . Катушка индуктивности L_6 включается таким образом, чтобы она изменяла фазу передаваемых с коллекторной цепи колебаний на 180° . При этом обратная связь оказывается положительной (выполняется так называемый баланс фаз). Коэффициент взаимной индукции M (глубина обратной связи) должен быть не меньше порогового, при котором потери в контуре полностью компенсируются за счет положительной обратной связи (баланс амплитуд).

Приведенная схема содержит звено смещения, функции которого выполняет делитель R_{61}, R_{62} , а также элемент температурной стабилизации работы генератора — резистор R_3 , шунтированный конденсатором C_3 .

Для получения низкочастотных колебаний (от долей герц до нескольких десятков килогерц) целесообразно использовать RC -генераторы, у которых цепь положительной обратной связи собрана из резисторов и конденсаторов. Схема генератора RC -типа приведена на рис. 44.

Рассматриваемый генератор состоит из полупроводникового триода (усилительный элемент) и фазосдвигающей трехзвенной цепочки RC .

Известно, что колебания в генераторе, собранном на R и C элементах, носят несинусоидальный характер. Такие колебания являются суммой множества гармонических составляющих различной частоты. Синусоидальная форма колебаний RC -генератора достигается тем, что условия самовозбуждения (баланс фаз и баланс амплитуд) выполняются только на одной частоте. Это обеспечивается соответствующим подбором элементов фазосдвигающей цепи. У генераторов такого типа необходимо учитывать входное сопротивление полупроводникового триода, а так как это сопротивление мало и изменяется в процессе работы, то удобнее применять двухкаскадные схемы RC -генераторов, где в качестве первого каскада используется эмиттерный повторитель.

ИМПУЛЬСНЫЕ УСТРОЙСТВА

В настоящее время в автоматических системах управления находят широкое использование устройства, предназначенные для формирования и преобразования импульсных сигналов (импульсов) напряжения. Под импульсом понимают напряжение, действующее в устройстве в течение

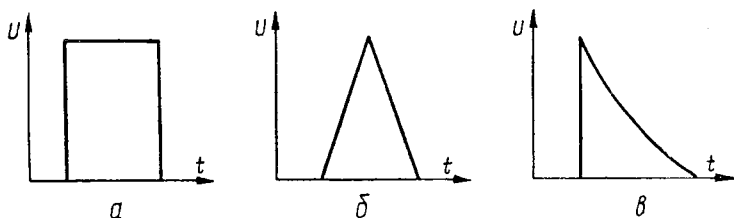


Рис. 45. Импульсы различной формы.

промежутка времени, соизмеримого с длительностью переходных процессов в этом устройстве.

Импульсы могут быть разнообразной формы: прямоугольной (рис. 45, а), пилообразной (рис. 45, б), экспоненциальной (рис. 45, в) и др. Форма импульса характеризуется следующими основными параметрами (рис. 46): амплитудой (максимальным значением) U_m , длительностью импульса t_n , длительностью переднего фронта $t_{ф.п.}$, длительностью заднего фронта (спада, среза) $t_{ф.с.}$, снижением вершины ΔU_m .

Если импульсы периодически повторяются, то последовательность периодически повторяющихся импульсов характеризуется скважностью Q , коэффициентом заполнения η и частотой повторения f :

$$Q = \frac{T}{t_{и}}; \quad \eta = \frac{1}{Q} = \frac{t_{и}}{T};$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{Qt_{и}},$$

где T — период повторения импульсов.

Формирование и преобразование импульсов осуществляется такими устройствами, как линейные импульсные усилители, служащие для усиления и некоторого преобразования импульсов, ключевые схемы (ключи), триггеры, мультивибраторы и др.

Рассмотрим работу некоторых наиболее применимых устройств. Ключевые схемы предназначены для коммутации (включения, переключения и выключения) различных цепей импульсных устройств под воздействием управляю-

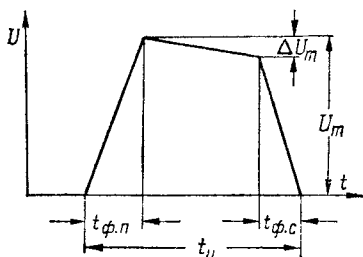


Рис. 46. Реальный прямоугольный импульс.

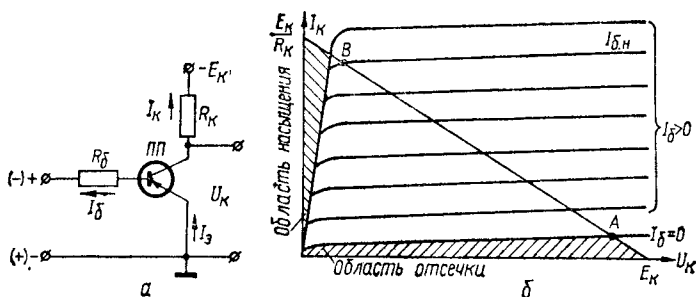


Рис. 47. Работа транзистора в ключевом режиме: а — схема ключа; б — выходные характеристики транзистора.

щих сигналов. Для построения электронных ключей в настоящее время используются в основном полупроводниковые приборы. Из возможных способов включения транзистора в ключевых схемах используется, как правило, схема с общим эмиттером (рис. 47, а). Работа транзистора в ключевой схеме характерна двумя режимами: отсечки и насыщения. Режим отсечки, соответствующий запертому состоянию

транзистора ПП, обеспечивается подачей на базу положительного потенциала. При этом через коллекторный переход будет протекать только тепловой ток $I_{к0}$, а так как тепловой ток эмиттерного перехода очень мал, то тепловой ток базы $I_{б0}$ будет приблизительно равен коллекторному $I_{к0}$. При заданных значениях напряжения источника питания E_k и коллекторной нагрузки R_k можно построить линию нагрузки на выходных статических характеристиках тран-

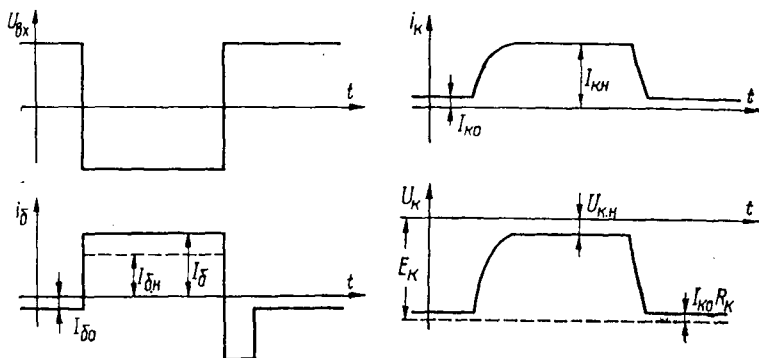


Рис. 48. Графики изменений напряжений и токов в ключевой схеме.

зистора (рис. 47, б). Запертому состоянию транзистора соответствует точка *A* на линии нагрузки. Напряжение на коллекторе при этом

$$U_k = -(E_k - I_{к0}R_k) \approx -E_k.$$

Подача на базу транзистора отрицательного отпирающего импульса приводит к скачку базового тока от значения $i_b = I_{б0}$ до значения I_b , превышающего ток насыщения базы $I_{б.н}$, т. е. $I_b > I_{б.н}$. При этом коллекторный ток также возрастает до значения тока насыщения $i_k \approx I_{к.н} = \frac{E_k}{R_k}$.

Рабочая точка переходит в положение *B* на линии нагрузки и наступает режим работы, при котором ток коллектора уже не зависит от тока базы. Напряжение на коллекторе в этом режиме очень мало. Можно считать, что $U_{к.н} \approx 0$.

Глубина насыщения ключевого каскада определяется коэффициентом насыщения

$$k_n = \frac{I_b}{I_{б.н}} \leq \frac{\beta I_b}{I_{к.н}}, \quad (22)$$

так как $I_{б.н} \geq \frac{I_{к.н}}{\beta}$.

Здесь β — коэффициент передачи по току для схемы с общим эмиттером.

Ключевой режим транзистора обладает рядом особенностей, связанных с инерционностью самого триода. Поэтому передача идеального прямоугольного импульса транзисторным ключом в реальных условиях невозможна.

Графики изменений напряжений и токов в ключевой схеме при скачкообразном изменении входного сигнала $U_{вх}$ приведены на рис. 48. Длительность переднего и заднего

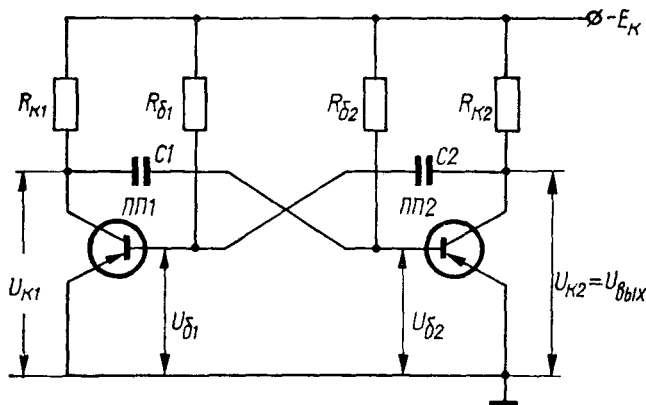


Рис. 49. Схема мультивибратора на транзисторах.

фронтов передаваемого импульса определяется скоростью переходных процессов, протекающих в транзисторе. В отличие от базового тока, изменяющегося скачкообразно, коллекторный ток характеризуется замедленным нарастанием в режиме насыщения и спаданием в режиме отсечки.

Одним из видов релаксационных генераторов является мультивибратор, вырабатывающий электрические колебания, близкие по форме к прямоугольным.

На рис. 49 приведена схема мультивибратора на транзисторах ПП1 и ПП2, работающего в автоколебательном режиме. Такой мультивибратор имеет два состояния квазиравновесия: если один из транзисторов находится в режиме отсечки, то второй — в режиме насыщения, и наоборот. Эти состояния неустойчивы, а переход из одного состояния в другое происходит лавинообразно. Допустим, что после включения источника питания E_k в схеме мультивибратора установилось положение равновесия, в котором оба

транзистора *ПП1* и *ПП2* находятся в режиме насыщения и через них текут равные токи. Такое равновесное состояние весьма неустойчиво, так как незначительное изменение тока одного из транзисторов, вызванное, например, неравномерностью диффузии зарядов, обуславливает несимметрию режимов плеч схемы, которая нарастает лавинообразно.

Если в момент времени t_1 увеличивается коллекторный ток $i_{к2}$ транзистора *ПП2*, то при этом потенциал коллектора

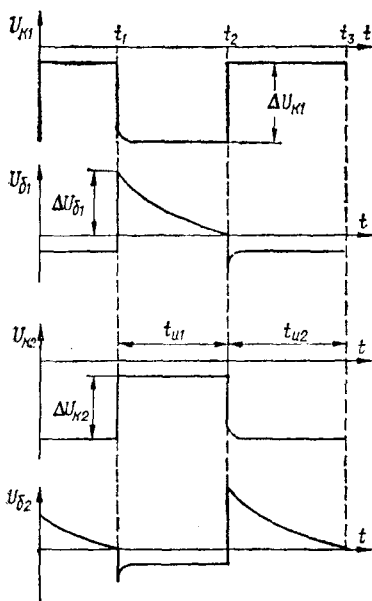


Рис. 50. Формы напряжений в схеме мультивибратора.

$U_{к2}$ станет менее отрицательным, т. е. возникает положительный скачок напряжения $\Delta U_{к2}$, который через конденсатор *C2* передается на базу транзистора *ПП1*. Поскольку напряжение на конденсаторе не может изменяться скачком, то в первый момент напряжение $\Delta U_{к2}$ целиком приложено между базой и эмиттером транзистора *ПП1*. В результате коллекторный ток этого транзистора уменьшится, а потенциал его коллектора $U_{к1}$ станет более отрицательным; при этом на базу транзистора *ПП2* через конденсатор *C1* поступит отрицательный скачок напряжения, что приведет к

дополнительному увеличению тока $i_{к2}$, и т. д. Лавинообразное развитие процесса протекает практически мгновенно и завершается запирающим транзистора *ПП1*. Напряжение на коллекторе открытого транзистора *ПП2* практически станет равным нулю, а напряжение на коллекторе закрытого транзистора *ПП1* — близким к напряжению источника питания (см. рис. 50).

После этого начинается сравнительно медленный процесс формирования плоских частей импульсов. Время пребывания схемы в таком состоянии определяется постоянной времени цепи разряда конденсатора *C2* через сопротивление резистора $R_{б1}$, источник питания E_k и открытый транзистор

ПП2. В процессе разряда конденсатора С2 в течение некоторого времени на базе транзистора ПП1 поддерживается положительное напряжение $U_{б1}$ и он остается запертым. Когда это напряжение достигнет примерно нулевого значения (момент t_2), транзистор ПП1 открывается. Скачок тока в момент открывания этого транзистора послужит входным сигналом для транзистора ПП2. Начинается лавинообразный процесс запираания транзистора ПП2. При этом от источника питания через сопротивление $R_{к1}$ и переход эмиттер — база транзистора ПП2 заряжается конденсатор С1.

Аналогично протекает процесс в следующем цикле, когда происходит разряд конденсатора С1 и заряд конденсатора С2.

Амплитуда импульсов на коллекторах транзисторов близка по величине напряжению источника питания E_k . Длительности импульсов определяются временем уменьшения потенциала базы запертого транзистора до нулевого значения и могут быть определены из выражений

$$t_{н1} \approx 0,7R_{б1}C_2; \quad t_{н2} \approx 0,7R_{б2}C_1.$$

Частота f колебания мультивибратора

$$f = \frac{1}{t_{н1} + t_{н2}} \approx \frac{1,4}{R_{б1}C_2 + R_{б2}C_1}. \quad (23)$$

В симметричном мультивибраторе (при $R_{б1} = R_{б2} = R_б$; $R_{к1} = R_{к2} = R_к$ и $C_1 = C_2 = C$) $t_{н1} = t_{н2} = t_и$; $T = 2t_и$; $f = \frac{1}{2t_и}$.

Величины сопротивлений $R_б$ и $R_к$ должны удовлетворять условию

$$R_б = \frac{1}{2} \beta R_к,$$

где β — коэффициент усиления по току для схемы с общим эмиттером.

Недостаток мультивибратора, собранного по схеме, приведенной на рис. 49, заключается в экспоненциальном фронте импульса на коллекторе запирающегося транзистора. Это удлинение фронта объясняется падением напряжения на сопротивлениях резисторов $R_{к1}$ и $R_{к2}$ при заряде конденсаторов, включенных между коллектором запертого и базой открытого транзисторов.

Длительности фронтов отрицательных перепадов напряжения на коллекторах $ПП1$ и $ПП2$ соответственно равны:

$$t_{ф.п1} \approx 2,3R_{к1}C_1; \quad t_{ф.п2} \approx 2,3R_{к2}C_2.$$

Мультивибраторы с одним устойчивым состоянием называются ждущими или одновибраторами. У ждущих мультивибраторов переход схемы из устойчивого состояния в неустойчивое происходит под воздействием внешнего за-

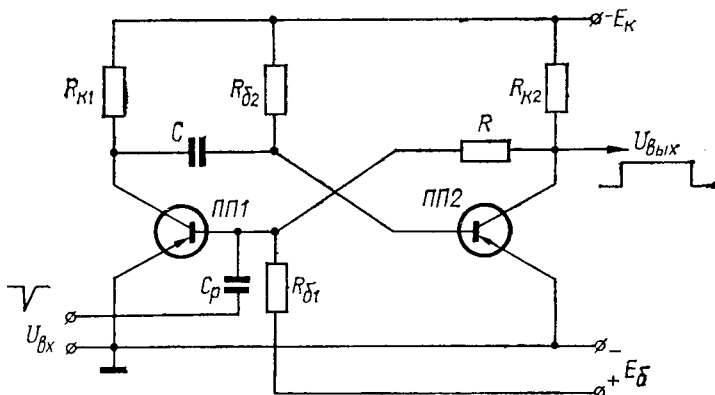


Рис. 51. Схема ждущего мультивибратора.

пускающего импульса. Одновибраторы применяются для формирования широких прямоугольных импульсов из запускающих импульсов произвольной формы, для задержки импульсов на некоторое определенное время и т. д.

Схема ждущего мультивибратора приведена на рис. 51. В исходном состоянии транзистор $ПП1$ закрыт, а $ПП2$ открыт. Когда на вход схемы приходит отрицательный импульс, через транзистор $ПП1$ начинает протекать коллекторный ток. Изменение напряжения на коллекторе транзистора $ПП1$ через конденсатор C передается на базу транзистора $ПП2$. Лавинообразное протекание процесса приводит к запирающему транзистора $ПП2$ и открыванию $ПП1$. В этом неустойчивом состоянии схема будет находиться до тех пор, пока конденсатор C не разрядится и напряжение на базе транзистора $ПП2$ не достигнет нулевого значения. При этом открывается транзистор $ПП2$ и закрывается $ПП1$, т. е. схема возвращается в первоначальное устойчивое состояние до прихода следующего запускающего импульса.

Длительность импульса t_n выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ определяется постоянной времени разряда конденсатора C :

$$t_n = 0,7 R_{\text{с2}} C.$$

В отличие от ждущих мультивибраторов триггер с двумя устойчивыми состояниями переходит в каждое из них только под воздействием запускающего сигнала. Схема симметричного триггера на транзисторах с внешним источником напряжения смещения E_6 приведена на рис. 52.

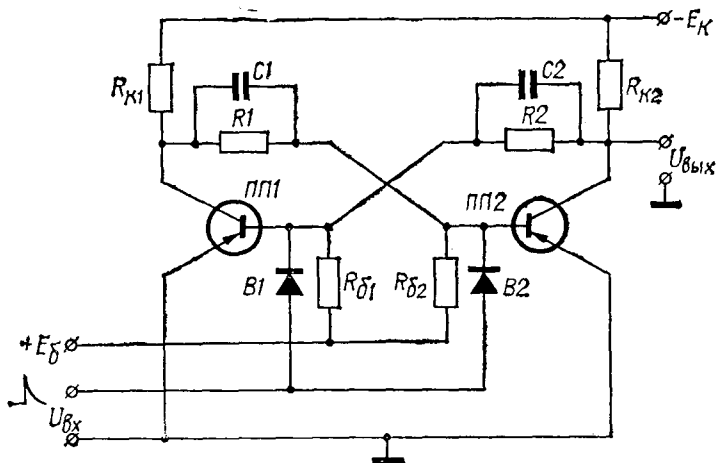


Рис. 52. Схема симметричного триггера на транзисторах.

Триггер можно рассматривать как двухкаскадный резистивный усилитель постоянного тока, в котором выход одного каскада связан со входом другого делителем напряжения $R - R_6$. Так же, как и в мультивибраторе, в схеме триггера после включения источника питания E_K не может существовать режим, характеризующийся одинаковыми коллекторными токами обоих транзисторов ПП1 и ПП2. Если по какой-либо причине изменится коллекторный ток одного из транзисторов, то изменится и потенциал коллектора этого транзистора. Возникший скачок напряжения передается на базу другого транзистора, что вызовет изменение коллекторного тока этого транзистора в направлении, противоположном изменению тока первого транзистора. В результате протекает лавинообразный процесс, который заканчивается полным запираем одного из транзисторов и отпиранием другого.

Это состояние до прихода запускающего импульса будет устойчивым, так как из-за отсутствия емкостей в цепях связи потенциалы на базах обоих транзисторов остаются неизменными. Конденсаторы $C1$ и $C2$, включенные параллельно резисторам $R1$ и $R2$ для ускорения переходных процессов, заряжаются и разряжаются очень быстро и на установившееся состояние транзисторов не оказывают влияния.

Допустим, что в исходном состоянии транзистор $ПП1$ открыт, а $ПП2$ закрыт. Воздействие положительного запирающего импульса на базы обоих транзисторов через разделительные диоды $B1$ и $B2$ приводят к уменьшению коллекторного тока открытого транзистора $ПП1$ и соответствующего падения напряжения на сопротивлении резистора $R_{к1}$ (действие положительного импульса на базу закрытого транзистора $ПП2$ на состоянии схемы не отразится). Отрицательный скачок напряжения $U_{к1}$ через цепь $R1, C1$ передается на базу транзистора $ПП2$ и отпирает его. Увеличение потенциала коллектора транзистора $ПП2$, которое по цепи $R2, C2$ передается на базу $ПП1$, приводит к дальнейшему уменьшению коллекторного тока транзистора $ПП1$, и т. д.

Таким образом, транзистор $ПП1$ закрывается, а $ПП2$ — полностью открывается, т. е. схема переходит во второе устойчивое состояние. Это состояние в схеме сохраняется до прихода следующего запускающего импульса.

Приведенная схема триггера нечувствительна к входным импульсам отрицательной полярности, так как диоды $B1$ и $B2$ пропускают на базы транзисторов только импульсы положительной полярности. Указанные диоды устраняют короткое замыкание между базами транзисторов. Если потенциал базы транзистора $ПП1$ выше потенциала базы транзистора $ПП2$, то диод $B1$ ток не проводит. При обратной полярности потенциалов не проводит ток диод $B2$. В то же время оба диода проводят входные положительные импульсы на базы транзисторов.

Глава 2

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ТРИКОТАЖНЫХ МАШИН

Предприятия трикотажного производства оснащены различными трикотажными машинами: кругловязальными, чулочными, плоскофанговыми, котонными, основовязальными

ми и др. Скорость и производительность трикотажных машин может быть резко повышена при их оснащении современными автоматизированными электроприводами.

В функции автоматизированного электропривода большинства машин трикотажного производства входит пуск, торможение, останов, реверс электродвигателя, а также переключение его скоростей. На целом ряде трикотажных машин предусматриваются различные виды технологической защиты с применением специальных устройств контроля и сигнализации обрыва нити, поломки иглы и т. п.

При автоматизации трикотажного оборудования во многих случаях могут быть использованы типовые схемы управления автоматизированными электроприводами, к которым относятся схемы управления нереверсивными и реверсивными электродвигателями переменного и постоянного тока. Кроме того, схемы управления некоторыми трикотажными машинами содержат специфические устройства, присущие каждой конкретной машине.

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

На рис. 53 показана схема управления нереверсивным асинхронным электродвигателем АД с короткозамкнутым ротором. Схема предусматривает пуск и останов двигателя

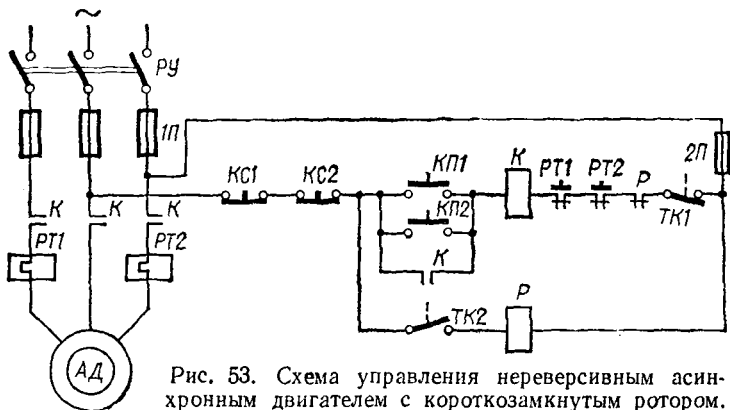


Рис. 53. Схема управления нереверсивным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.

с двух точек. Пуск двигателя производится нажатием одной из кнопок КП1 или КП2. При этом получает питание контактор К, который своими замыкающими контактами К

подает напряжение обмоткам статора электродвигателя *АД*. Останов двигателя производится нажатием одной из кнопок *КС1* или *КС2*. Замыкающий контакт самоблокировки контактора *К*, включенный параллельно контактам пусковых кнопок, обеспечивает нулевую защиту, которая предотвращает повторное включение двигателя после останова,

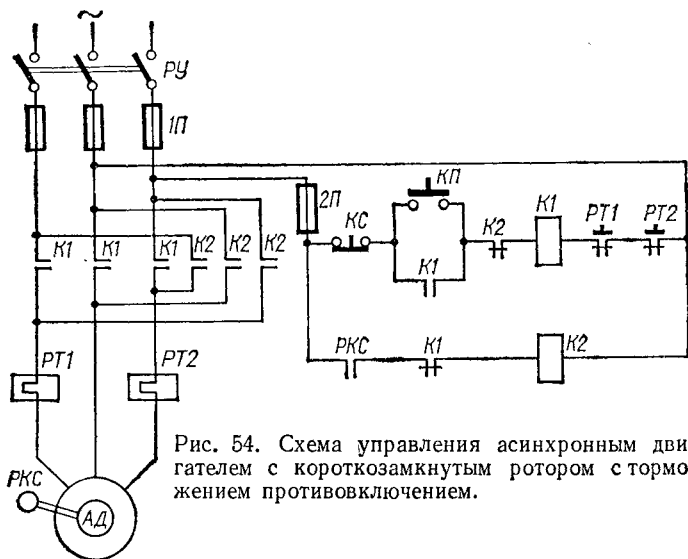


Рис. 54. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с торможением противовключением.

связанного с кратковременным исчезновением напряжения в сети питания.

Защита электродвигателя *АД* от перегрузки осуществляется тепловыми реле *РТ1* и *РТ2*, размыкающие контакты которых стоят в цепи питания контактора *К*. Технологическая защита предусматривает останов двигателя при технологической неисправности (полом игл, обрыв нити и т. д.). Элементами технологической защиты являются размыкающий контакт *ТК1* в цепи катушки контактора *К* и замыкающий контакт *ТК2* в цепи катушки вспомогательного реле *Р*. При срабатывании реле *Р* своим размыкающим контактом прерывает цепь питания контактора *К*.

Для сокращения времени останова асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором часто применяют его торможение противовключением путем переключения фаз напряжения, подводимого к статору двигателя. Схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым рото-

Останов двигателя при вращении его в любом направлении производится кнопкой *КС*.

Схема управления асинхронным двигателем с фазным ротором приведена на рис. 56. Напряжение к статору двигателя подается через замыкающие контакты контактора *К*. В цепь ротора введены пусковые сопротивления, шунтируемые при пуске соответствующими замыкающими контактами

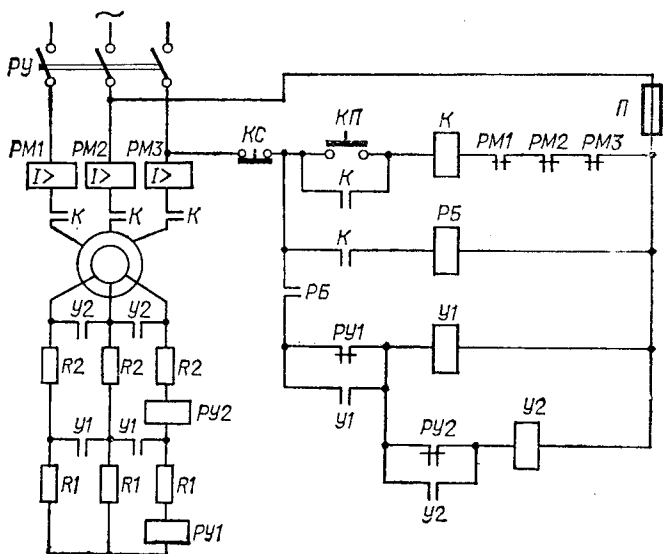


Рис. 56. Схема управления нереверсивным асинхронным двигателем с фазным ротором.

У2 и *У1* контакторов ускорения. Реле ускорения *РУ1* и *РУ2*, включенные в цепь ротора, настраиваются таким образом, чтобы токи, при которых отключаются эти реле, удовлетворяли следующему условию:

$$I_{РУ1} > I_{РУ2}.$$

Реле максимального тока *РМ1*, *РМ2* и *РМ3* включены для защиты двигателя от коротких замыканий. При нажатии кнопки *КП* получает питание контактор *К*, который своими контактами блокирует кнопку *КП*, подает питание на статор двигателя и включает реле блокировки *РБ*. Замыкающий контакт реле *РБ* подготавливает к работе линию контакторов ускорения *У1* и *У2*. Последние не включаются, так как размыкающий контакт *РУ1* будет открыт до тех пор, пока пусковой ток в цепи ротора не уменьшит-

ся до величины, равной току отключения реле $PY1$. При замыкании контакта $PY1$ срабатывает контактор $У1$, который замыкающими контактами $У1$ шунтирует первую ступень сопротивлений в цепи ротора. При отключении реле $PY2$ срабатывает соответственно контактор $У2$ и шунтируется вторая ступень сопротивлений в цепи ротора. Чтобы устранить вибрацию контактов реле ускорения PY при значениях токов, близких к токам отключения, в схеме предусмот-

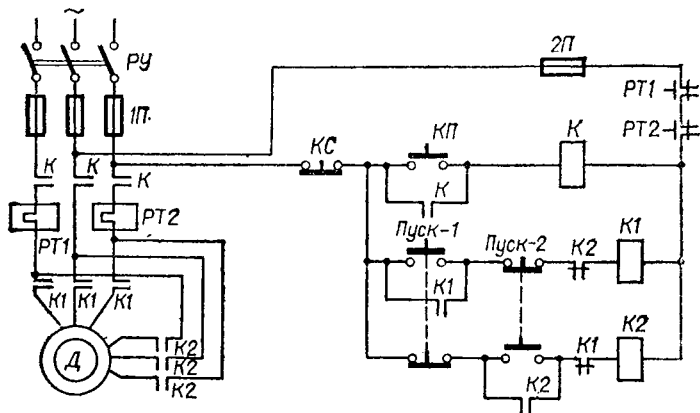


Рис. 57. Схема управления двухскоростным асинхронным двигателем.

рено шунтирование размыкающих контактов $PY1$ и $PY2$ блок-контактами контакторов соответственно $У1$ и $У2$.

Схема управления нереверсивным двухскоростным асинхронным двигателем приведена на рис. 57. Включение двигателя на определенную скорость осуществляется нажатием на одну из кнопок «Пуск-1» или «Пуск-2» и включением контакторов $K1$ или $K2$. При этом подготавливается к работе соответствующая обмотка статора. Затем производится пуск двигателя при помощи кнопки $КП$. При этом срабатывает контактор K и подключает обмотки статора к сети.

В схеме используется двойная электрическая блокировка, которая осуществляется двухцепными кнопками пуска и размыкающими контактами $K1$ и $K2$. Такая блокировка исключает одновременное включение контакторов $K1$ и $K2$. Переключение с одной скорости на другую возможно и во время работы двигателя. Защита двигателя от токов короткого замыкания обеспечивается предохранителями $1П$. Тепловая защита осуществляется тепловыми реле $РТ1$ и $РТ2$.

ТИПОВЫЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

При пуске двигателей постоянного тока в большинстве случаев приходится устанавливать в цепи якоря сопротивления, ограничивающие в требуемых пределах величину пускового тока. По мере разгона возрастает э. д. с. двигателя, вследствие чего уменьшается ток и необходимо постепенно выключать пусковые сопротивления. Управление пуском может быть осуществлено в зависимости от э. д. с. тока и времени.

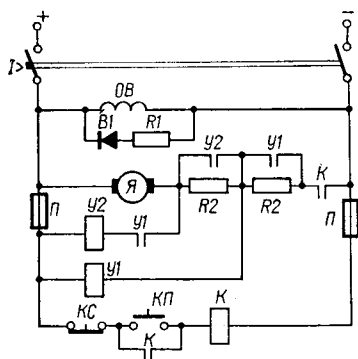


Рис. 58. Схема управления не-реверсивным двигателем постоянного тока.

На рис. 58 приведена схема управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением. Пуск его производится в функции э. д. с. после включения напряжения при помощи контактора K . При определенной скорости вращения двигателя напряжение на зажимах катушки контактора ускорения $У1$ достигает величины, при которой этот контактор срабатывает, шунтирует своими контактами первую ступень пускового сопротивления $R2$, а также подготавливает цепь питания катушки контактора $У2$. Как только скорость двигателя достигает следующего определенного значения, включается контактор ускорения $У2$ и своими контактами шунтирует следующую ступень пускового сопротивления. Резистор $R1$ вместе с диодом $B1$ служит для гашения э. д. с. самоиндукции обмотки возбуждения двигателя $ОВ$ при ее отключении.

Схема управления реверсивным двигателем со смешанным возбуждением приведена на рис. 59. Схема предусматривает пуск двигателя в функции времени, динамическое торможение при остановке и торможение противовключением при реверсе.

При включении рубильника $1P$ подготавливается к работе якорная цепь двигателя, а при включении рубильника $2P$ подается питание к обмотке независимого возбуждения двигателя $ОВД$ и срабатывает реле нулевого тока

и $У2$. Одновременно с этим включается реле $РПВ$ и своими контактами подключает контактор $К$, который закорачивает ступень сопротивления противовключения и обмотку реле $РУ1$. Через определенный промежуток времени реле $РУ1$ замыкает свой размыкающий контакт и включает контактор $У1$, который шунтирует еще одну ступень пускового сопротивления и обмотку реле $РУ2$. Спустя некоторое время реле $РУ2$ замыкает свой размыкающий контакт в цепи обмотки контактора $У2$, который шунтирует последнюю ступень пускового сопротивления, чем и заканчивается процесс пуска двигателя.

При перестановке контроллера из положения «вперед» в положение «назад» изменяется полярность напряжения на якоре, так как выключается контактор $В$ и включается контактор $Н$. При этом отключаются контакторы $К$, $У1$ и $У2$, вводится сопротивление в якорную цепь двигателя и замыкающий контакт $Н$ подключает обмотку реле противовключения $РПН$. Сопротивление противовключения подбирается таким, чтобы в начальный момент противовключения напряжение на обмотке реле $РПН$ было равно нулю. При снижении скорости двигателя до 15—20% от номинального значения реле $РПН$ срабатывает и в дальнейшем обеспечивает разгон двигателя в обратном направлении.

При перестановке контроллера $КК$ в нулевое положение отключается линейный контактор $Л$, а также контакторы направления $В$ ($Н$) и ускорения $У1$, $У2$. Затем включается контактор динамического торможения $ДТ$, который своим замыкающим контактом подключает сопротивление резистора RI к якору двигателя, вследствие чего и происходит динамическое торможение. Схема предусматривает работу двигателя на пониженной скорости. В этом случае контроллер устанавливается в положение 1 или 2. Для защиты двигателя от перегрузок используется реле максимального тока $PM1$ и $PM2$.

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ЧУЛОЧНО-НОСОЧНЫХ АВТОМАТОВ

К кругловязальным чулочно-носочным автоматам относятся отечественные автоматы модели ОЗРН, «Эластик-28», а также зарубежные машины модели «Quartex», ДЗВА, И4-ДА, Zodiac и др.

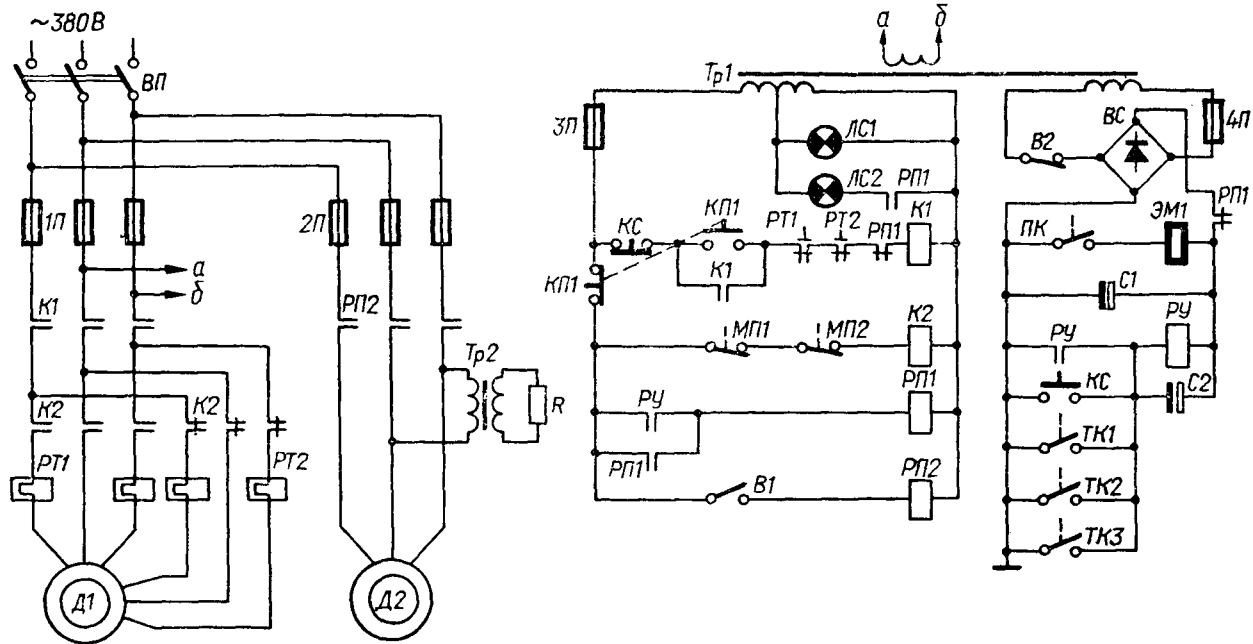


Рис. 60. Схема управления электроприводом чулочно-носочного автомата ОЗРН-14-6.

На рис. 60 представлена электрическая схема управления чулочно-носочным автоматом ОЗРН-14-6. Трехсистемный автомат ОЗРН-14-6 предназначен для выработки переплетенных чулочно-носочных изделий жаккардовым переплетением с трехцветным рисунком из капронового шелка и хлопчатобумажной пряжи. Автомат снабжен двумя двигателями: двухскоростным главным двигателем *Д1* и двигателем пневмооттяжки *Д2*. Двигатель пневмооттяжки *Д2* включается тумблером *В1*, который стоит в цепи питания реле *РП2*.

Пуск главного двигателя производится на пониженной скорости нажатием кнопки *КП1*, которая замыкает цепь питания контактора *К1* и разрывает цепь питания контактора *К2*. Срабатывание контактора *К1* обеспечивает замыкание контакта самоблокировки и контактов в цепи обмоток статора. При работе автомата скорость двигателя определяется программным механизмом, воздействующим на микропереключатели *МП1* и *МП2* в цепи контактора *К2*. При замкнутых контактах микропереключателей *МП1* и *МП2* машина работает на высокой скорости, при разомкнутых — на низкой. Останов главного двигателя производится нажатием кнопки стопа *КС*.

Схема управления предусматривает автоматический останов при обрыве нитей с помощью технологических контактов *ТК1*, *ТК2*, *ТК3*. При замыкании одного из этих контактов получает питание реле управления *РУ*. Замыкающие контакты этого реле производят самоблокировку и включают промежуточное реле *РП1*, размыкающие контакты которого обесточивают контактор *К1*, и главный двигатель останавливается. Обесточивается также реле *РУ* и электромагнит *ЭМ1*, приводящий в действие лубрикатор подачи смазки. Электромагнит *ЭМ1* работает в импульсном режиме от программного механизма, воздействующего на переключатель *ПК*. Конденсаторы *С1* и *С2* обеспечивают некоторую выдержку времени при отключении реле *РУ* и электромагнита *ЭМ1*. Световая сигнализация свидетельствует о включении и выключении автомата.

Автомат ОЗРН-14-6 снабжен электрической спиралью *Р* для пережигания нитей. Аналогичную схему управления электроприводом имеет круглочулочный двухцилиндровый автомат 2АН-14, предназначенный для вязания чулочно-носочных изделий однопроцессным способом гладким или прессовым переплетением.

выработки женских гладких чулок, отличается лишь отсутствием двигателя пневмооттяжки, что является одним из недостатков этого автомата.

Схема управления четырехсистемным кругловязальным автоматом фирмы Quartex (Бельгия) представлена на рис. 62. Двигатель пневмооттяжки и вентилятора *Д1* включается при подключении трехфазной цепи пакетным выключателем *ВП*. Двухскоростной главный двигатель *Д2* включается при помощи контакторов *К1* и *К2*. Последователь-

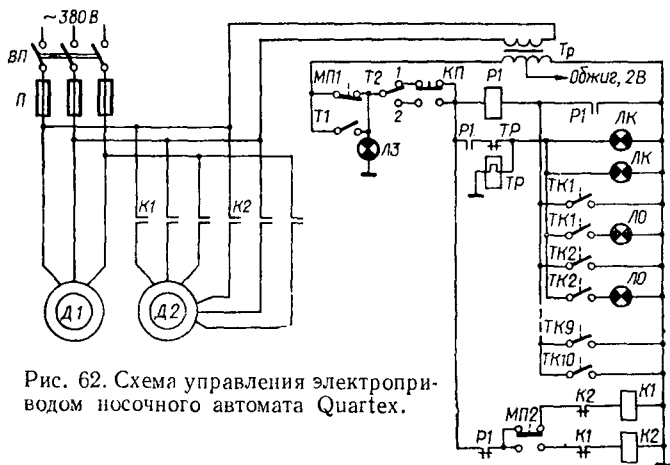


Рис. 62. Схема управления электроприводом носочного автомата Quartex.

ность срабатывания этих контакторов зависит от положения микропереключателя *МП2*, определяемого программным устройством. Одновременное включение контакторов исключается, так как в цепи питания контактора *К1* стоит размыкающий контакт *К2* и наоборот. Пуск главного двигателя *Д2* производится переключением тумблера *Т2* в положение 1. При этом получает питание один из контакторов *К1* или *К2*, включающих двигатель *Д2*.

В схеме предусмотрен автоматический останов двигателя при обрыве нитей (технологические контакты *ТК1—ТК8*) с соответствующей сигнализацией о месте обрыва, при поломке игольной пятки (*ТК9*) и при поломке язычка иглы (*ТК10*). При замыкании одного из технологических контактов получает питание реле *Р1*. Срабатывая, реле *Р1* обесточивает цепи питания контакторов *К1* и *К2*, выключающих двигатель, и подает питание тепловому реле-прерывателю *ТР*. Реле *ТР* включает сигнальные лампочки, горящие ми-

гающим светом. Сочетание горящих сигнальных ламп свидетельствует о причине останова. Так, при срабатывании контактов $TK9$ и $TK10$ мигают красные лампочки LK , а при обрыве нити — две красные лампочки LK и одна из ламп LO . Сигнальная лампа $L3$ свидетельствует о работе автомата. Микропереключатель MPI останавливает автомат по окончании наработки изделия; если в этом нет необходимости, MPI шунтируется тумблером $T1$.

При наладке автомата тумблер $T2$ переключается в положение 2, и пуск двигателя при этом осуществляется нажатием кнопки $KП$. Питание схемы управления 24 в подается через понижающий трансформатор. Устройство для обжига нитей питается от этого же трансформатора (напряжение 2 в).

К двухскоростным автоматам относится и трехсистемный автомат модели ДЗВА, предназначенный для выработки широкого ассортимента рисунчатых чулочно-носочных изделий жаккардовых, двухизнаночных переплетений или жаккардовых в сочетании с двухизнаночными. Наличие трех механизмов переключения нитеводителей позволяет применять нити и пряжу различных цветов из различных волокон. Электрическая схема управления приводом автомата ДЗВА представлена на рис. 63.

Для пуска двухскоростного асинхронного двигателя D необходимо нажать кнопку пуска $KП$, которая замыкает цепь питания реле P от вторичной обмотки трансформатора 24 в через сопротивление гасящего резистора $R1$. При срабатывании реле P , которое становится на самоблокировку, получает питание контактор $K1$, включающий двигатель, а также происходит заряд конденсатора C от двухполупериодного выпрямителя BC . Переключение скорости двигателя происходит при срабатывании контактора $K2$, цепь питания которого замыкается микропереключателем $MП$.

Положение микропереключателя зависит от программного устройства, обеспечивающего технологический процесс. Резистор $R2$, включенный последовательно с обмоткой реле P , обеспечивает необходимый рабочий ток этого реле.

Останов автомата производится нажатием кнопки $KС$, обесточивающей реле P . При этом отключается контактор $K1$ и на некоторое время включается электромагнит $ЭМ$ тормозной муфты. Обмотка электромагнита питается от ранее

автоматом И4-ДА приведена на рис. 64. Автомат снабжен главным трехскоростным двигателем *Д1* и двигателем вентилятора *Д2*. Переключение двигателя *Д1* с одной скорости на другую обеспечивается последовательным замыканием контактов *К1*, *К2* и *К3* соответствующих контакторов.

Срабатывание каждого из контакторов *К1*, *К2* и *К3* зависит от положения микропереключателя *МП*, на который

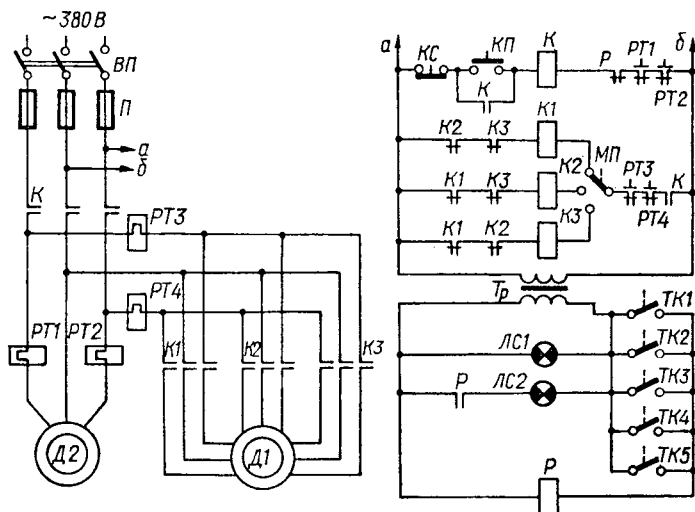


Рис. 64. Схема управления электроприводом чулочного автомата И4-ДА.

воздействует программное устройство. Одновременное включение контакторов исключается взаимной блокировкой между всеми тремя контакторами.

Пуск двигателей *Д1* и *Д2* производится нажатием кнопки пуск *КП*, включающей контактор *К*. Останов двигателей происходит при нажатии кнопки «Стоп» *КС*. При срабатывании одного из технологических контактов *ТК1* — *ТК5* включается реле *Р*, размыкающее своим контактом цепь питания контактора *К*.

Круглочулочный четырехсистемный автомат модели Zodiac итальянской фирмы Billi предназначен для выработки капроновых чулок малораспускающимся переплетением «микромеш» и «нонран». На этом автомате также установлен трехскоростной главный двигатель *Д1* и двигатель вентилятора *Д2*.

Электрическая схема автомата Zodiac представлена на рис. 65. При включении автоматических выключателей *ВА*, *ВА1* и *ВА2* получает питание контактор *К*. Происходит пуск двигателя вентилятора *Д2* пневмооттяжки и подготавливается цепь питания контакторов *К1*, *К2* и *К3*. При нажатии кнопки пуск *КП* срабатывает реле *РП1*, контакты

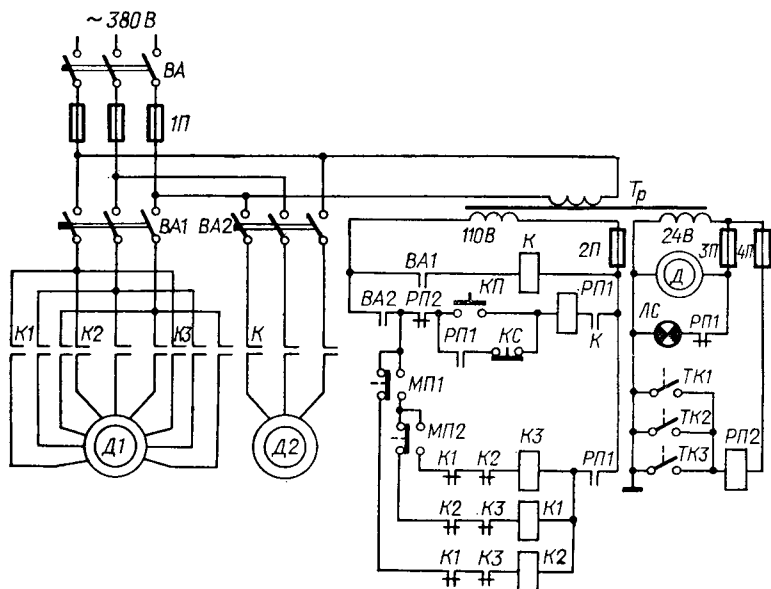


Рис. 65. Схема управления электроприводом чулочного автомата Zodiac.

которого замыкают цепь питания контакторов главного двигателя. Переключение скорости двигателя производится от программного устройства, воздействующего на два микропереключателя *МП1* и *МП2* в цепях контакторов *К1*, *К2* и *К3*.

В отличие от схемы автомата И4-ДА в рассматриваемой схеме предусмотрена принудительная смазка от лубрикатора с электродвигателем *Д*, который питается от вторичной обмотки трансформатора *Тр* в 24 в.

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КРУГЛВЯЗАЛЬНЫХ МАШИН

Трикотажные предприятия верхнего и бельевого трикотажа в парке оборудования имеют целый ряд различных однофонтурных и двухфонтурных круглотрикотажных машин. К ним относятся машины типов МС-5, МСПН-16, КТ-1, ДЛ-2-50, КЛК-2, КЛК-3, «Интерлок» и др.

Многосистемная однофонтурная кругловязальная машина МС-5 предназначена для выработки трубчатого бельевого

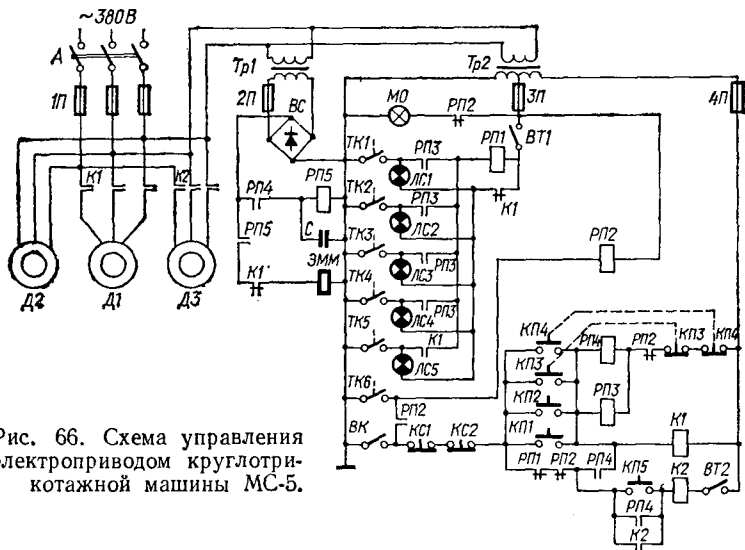


Рис. 66. Схема управления электроприводом круглотрикотажной машины МС-5.

полотна из хлопчатобумажной пряжи и искусственного шелка. На рис. 66 представлена электрическая схема управления электроприводом машины МС-5. Эта машина оборудована тремя электродвигателями: главным двигателем Д1 и двумя вспомогательными двигателями Д2 и Д3, предназначенными для пухоудаления соответственно при остановленной и работающей машине. При включении автоматического выключателя А получает питание двигатель Д2. Пуск главного двигателя Д1 и двигателя Д3 осуществляется нажатием кнопок КП1 и КП2. При этом срабатывают реле РП3, РП4 и контакторы К1 и К2, замыкающие контакты которых подключают обмотки двигателей к трехфазной сети. Выключатель ВК включается вручную перед

началом работы машины. Схема предусматривает независимое управление двигателем *Д3* при помощи кнопки *КП5* и тумблера *ВТ2*, а также включение двигателя *Д1* при помощи толчковых кнопок *КП3* и *КП4* при наладке машины.

Останов двигателей производится при нажатии кнопок *КС1*, *КС2* или при срабатывании одного из датчиков, контролирующих наработку рулона *ТК6*, работу дыроискателей *ТК5* и обрыв нитей (*ТК1* — *ТК4*). Тормозная электромагнитная муфта *ЭММ* срабатывает при останове машины, получая питание от селенового выпрямителя *ВС* через контакт реле *РП5*. После останова машины это реле получает питание от зарядившегося конденсатора *С*. Тормозное действие электромагнитной муфты прекращается через 1,5 сек после останова машины. Это обеспечивается выбором постоянной времени разряда конденсатора *С*, зависящей от его емкости.

В схеме предусмотрено местное освещение (лампочка *МО*), а также световая сигнализация (лампочки *ЛС1* — *ЛС5*) при обрыве нитей и срабатывании дыроискателя. При обрыве нити или возникновении дыры в полотне срабатывает один из технологических контактов *ТК1* — *ТК5*, включается промежуточное реле *РП1*, размыкающий контакт которого разрывает цепь самоблокировки контактора *К1*, и двигатели *Д1*, *Д3* останавливаются. Промежуточное реле *РП2* срабатывает, также обеспечивая останов машины при замыкании технологического контакта *ТК6*, свидетельствующего об окончании наработки рулона полотна; при этом гаснет лампочка местного освещения *МО*. В начале выработки полотна после перезаправки машины все сигнальные лампы и цепи технологической защиты отключаются с помощью тумблера *ВТ1*.

Круглоластичная жаккардовая машина *КЛК-3* предназначена для выработки купонов верхнего трикотажа из шерстяной и объемной синтетической пряжи. Вязание производится по заданной программе, соответствующей определенной заготовке купона. Схема управления электроприводом этой машины показана на рис. 67.

Двухскоростной двигатель *Д* приводится в движение нажатием одной из кнопок пуска *КП1* или *КП2*, расположенных в разных местах. При этом срабатывают промежуточные реле *РП1* и *РП4*. Реле *РП1* включает контактор *К1* или *К2* в зависимости от положения микропереключателя *МП*, на который воздействует программное устройство,

определяющее требуемую скорость машины. Кроме того, реле *РП1* включает реле *РП2*, подготавливая к работе цепь питания электромагнита тормоза *ЭММ*. Реле *РП4* подготавливает к работе цепи технологической защиты. Кнопки *КП3* и *КП4* служат для кратковременного включения машины на пониженной скорости; контактор *К2* при этом обесточивается.

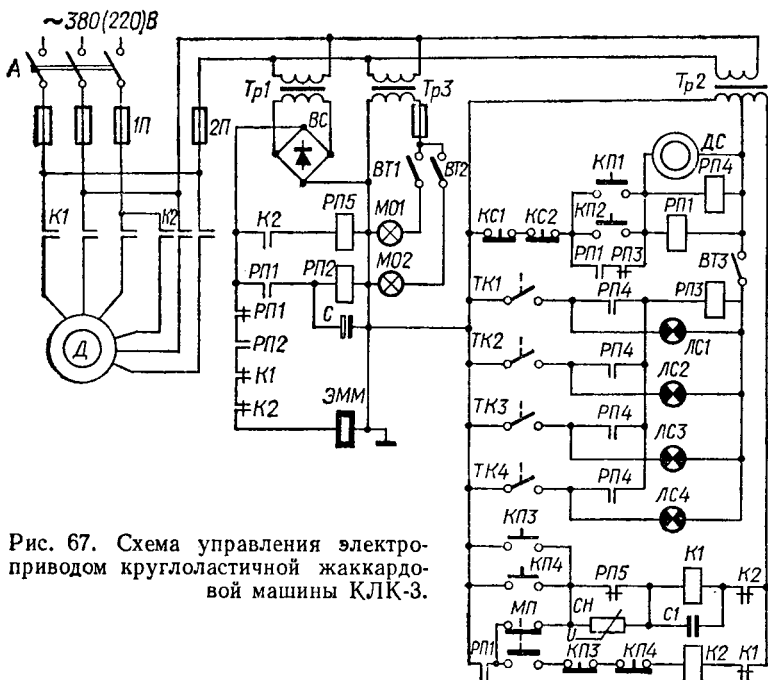


Рис. 67. Схема управления электроприводом круглоластичной жаккардовой машины КЛК-3.

Останов двигателя производится нажатием кнопок *КС1* и *КС2* или при замыкании одного из технологических контактов *ТК1* — *ТК4*. При нажатии одной из кнопок останова обесточиваются промежуточные реле *РП1* и *РП4*; при срабатывании технологической защиты сначала срабатывает промежуточное реле *РП3*, которое своим размыкающим контактом разрывает цепь самоблокировки реле *РП1*. И в том и в другом случае теряют питание контакторы *К1* и *К2*, и двигатель останавливается. Одновременно включается электромагнит тормоза *ЭММ*, который получает питание от селенового выпрямителя *ВС* до тех пор, пока не разрядится конденсатор *С* и не отпустит промежуточное реле *РП2*.

Выдержка времени на отпускание этого реле зависит от емкости конденсатора *C* и составляет 1—1,5 сек. Промежуточное реле *РП5* используется для дополнительной взаимной блокировки между контакторами *К1* и *К2*. Это реле включается при срабатывании контактора *К2* и своим размыкающим контактом разрывает цепь питания контактора *К1*.

На машине установлены лампы местного освещения *МО1* и *МО2*, которые включаются тумблерами *ВТ1* и *ВТ2*, и лампы *ЛС1* — *ЛС4*, сигнализирующие о технологической неисправности. При работе машины включается двигатель смазки *ДС*. Варистор *СН* служит для искрогашения на контактах реле *РП5*.

Аналогичную электрическую схему управления имеет машина *КЛК-2*, предназначенная для вязания верхнего трикотажа из шерстяной, смешанной и штапельной пряжи; на этой машине можно также вырабатывать метражное полотно переплетением ластик или игольный жаккард.

Кругловязальная двухластичная машина *ДЛ-2-50* (интерлок) предназначена для вязания гладкого и прессового полотна из хлопчатобумажной пряжи и искусственного шелка. Электрическая схема управления электроприводом этой машины представлена на рис. 68.

Пуск машины осуществляется кнопкой *КП1* или *КП2*. При этом срабатывает реле *РП3* и один из контакторов *К1* или *К2*, что зависит от положения переключателя *ПП*. Реле *РП3* становится на самоблокировку, обеспечивая тем самым питание контакторов *К1* и *К2* при отпущенной пусковой кнопке, а также включая промежуточное реле *РП5*, подготавливает к работе цепь питания тормозного электромагнита *ЭМ*.

Останов машины производится одной из кнопок *КС1* или *КС2* или при срабатывании технологической защиты (контакты *ТК1* — *ТК6*). В последнем случае срабатывает промежуточное реле *РП1*, разрывающее цепь питания реле *РП3* и контакторов *К1*, *К2*. При наладке машины для ее пуска на пониженной скорости используются кнопки *КП3* и *КП4*. При этом цепь питания реле *РП3* и контактора *К1* разрывается, а включается промежуточное реле *РП2*, которое своим замыкающим контактом подает питание контактору *К2*. При отпуске кнопки *КП3* или *КП4* машина останавливается. Тормозной электромагнит в этом случае не включается.

При замыкании одного из технологических контактов $TK1 - TK4$ срабатывает реле $P3$. Это реле становится на самоблокировку, разрывает цепь питания контакта K , а также включает реле $P2$, которое дополнительно разрывает цепь питания контактора K и подключает сигнальные лампы к источнику питания. При этом размыкание размыкающих контактов $P2$ обеспечивает включение лишь одной

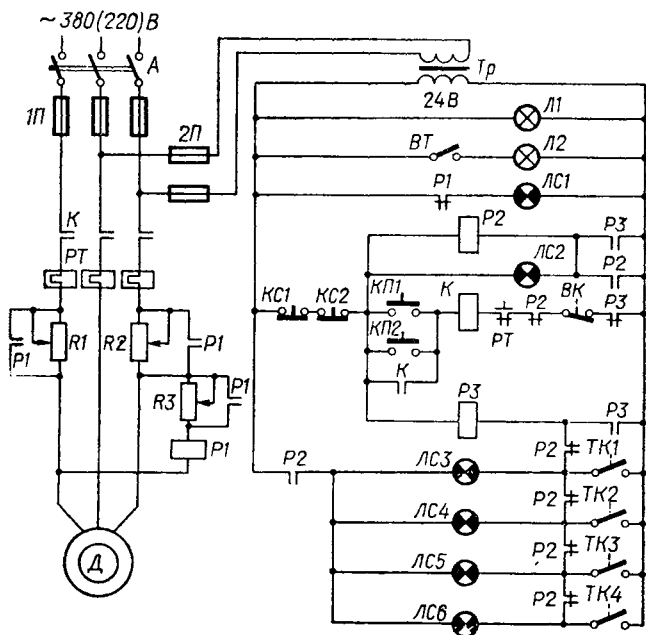


Рис. 69. Схема управления электроприводом кругловязальной машины «Интерлок».

сигнальной лампы соответственно конкретной технологической неисправности.

Подобную схему управления электроприводом имеет круглая трикотажная машина «Униплет» ODZI-30 Жаккард, предназначенная для производства двухлицевого жаккардного трубчатого метражного трикотажа из шерстяной, хлопчатобумажной, синтетической и шелковой пряжи.

Круглотрикотажная машина КТ-1 предназначена для выработки начесного полотна, которое используется для различных видов трикотажных изделий и технических целей.

На рис. 70 приведена схема управления электроприво-

дом машины КТ-1. Пуск машины может производиться из двух мест с помощью кнопок *КП1* и *КП2*. При этом срабатывает контактор *К*, который включает двигатель и промежуточное реле *РП1*, подготавливающее цепи питания тормозных электромагнитных муфт *ЭММ1* и *ЭММ2*.

Останов машины осуществляется одной из кнопок «Стоп» *КС1*, *КС2* или при замыкании одного из технологических контактов *ТК1* — *ТК4*. Технологическая защита обеспечивает останов при обрыве нити (*ТК1*), наработке товара

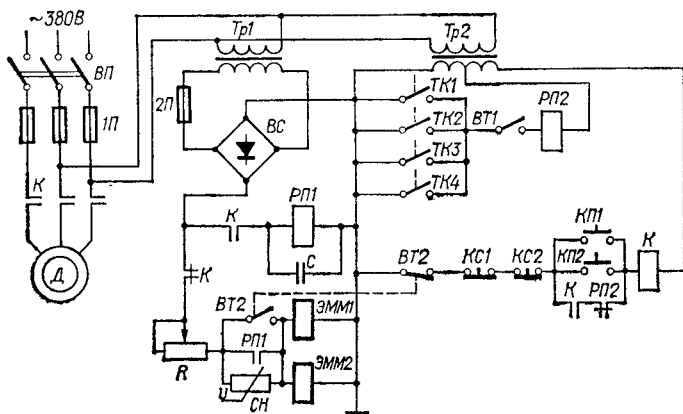


Рис. 70. Схема управления электроприводом круглотрикотажной машины КТ-1.

(*ТК2*), обрыве полотна (*ТК3*) и возникновении дыры в полотне. При отключении двигателя получают питание тормозные электромагнитные муфты *ЭММ1* и *ЭММ2*, которые отключаются с выдержкой времени, определяемой постоянной времени разряда конденсатора *С*. Резистор *Р* регулирует ток в цепи электромагнитных муфт, а варистор *СН* обеспечивает искрогашение на контактах реле *РП1*. Тумблеры *ВТ1* и *ВТ2* используются при наладке схемы.

Круглофанговая машина интерлок «Ково» предназначена для изготовления гладкого платированного интерлочного полотна из хлопчатобумажной и хлопкавсановой пряжи. Схема управления электроприводом этой машины показана на рис. 71. При включении главного выключателя *ВП* получает питание трансформатор *Тр1*, напряжение вторичных обмоток которого используется для питания схем управления и сигнализации.

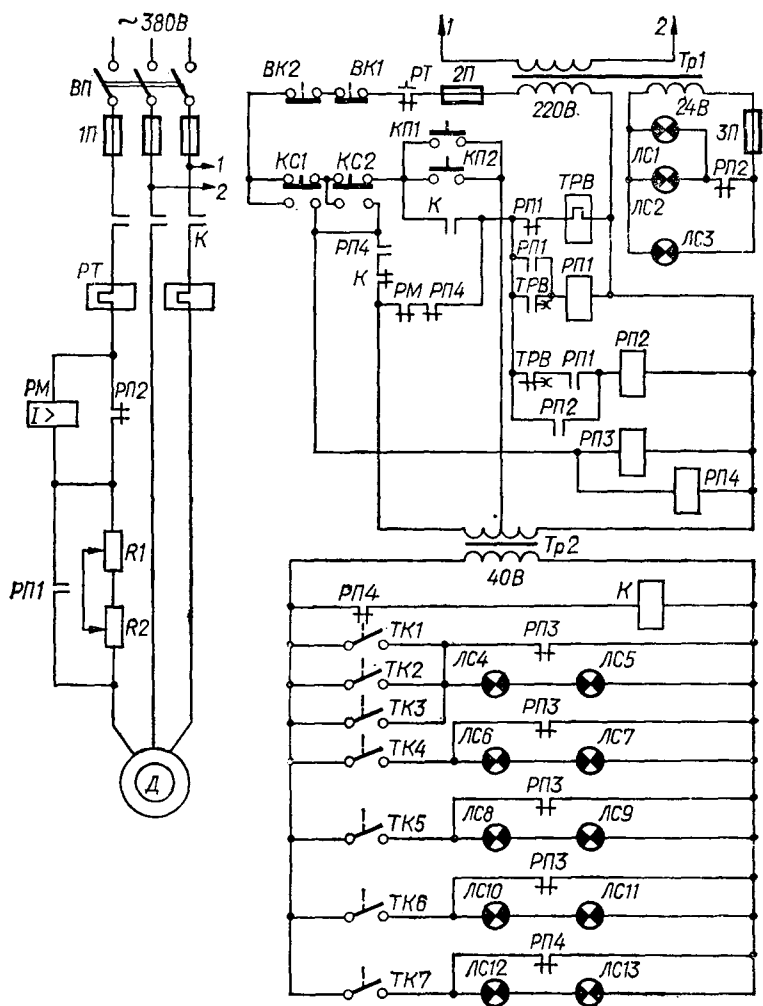


Рис. 71. Схема управления электроприводом круглофанговой машины «Ково».

При нажатии одной из пусковых кнопок $КП1$ или $КП2$ напряжение 220 в подается на часть первичной обмотки трансформатора $Tr2$ и срабатывает контактор $К$, который подключает статор двигателя $Д$ к трехфазной сети. После отпускания пусковой кнопки напряжение 220 в подводится ко всей первичной обмотке трансформатора $Tr2$, что обеспе-

чивает снижение напряжения питания катушки контактора K до 40 в. При включении контактора K подается питание тепловому реле времени $ТРВ$, которое с определенной выдержкой времени включает реле $РП1$. Это реле становится на самоблокировку и своим замыкающим контактом в силовой цепи шунтирует сопротивления резисторов $R1$ и $R2$, обеспечивающих плавный пуск двигателя. Кроме того, реле $РП1$ подготавливает цепь питания реле $РП2$ и разрывает цепь питания реле времени $ТРВ$; последнее с выдержкой времени своим размыкающим контактом включает реле $РП2$. При срабатывании реле $РП2$ размыкается его контакт, шунтирующий реле максимального тока $РМ$, которое после окончания пуска служит для защиты двигателя от перегрузок; размыкается также контакт $РП2$ в цепи питания ламп $ЛС1$ и $ЛС2$, что сигнализирует об окончании пуска машины.

Останов машины производится одной из кнопок $КС1$ или $КС2$. При этом включаются реле $РП3$ и $РП4$, контактор K обесточивается и двигатель останавливается. При технологической неисправности во время работы машины замыкается один из контактов $ТК1 — ТК7$ и закорачивает обмотку контактора K , что также вызывает останов двигателя. Чтобы определить место технологической неисправности, необходимо нажать кнопку «Стоп» ($КС1$ или $КС2$); при этом срабатывают реле $РП3$ и $РП4$, подается питание в цепи сигнализации и обеспечивается включение соответствующей пары сигнальных ламп. После отпускания кнопки «Стоп» схема приходит в исходное состояние. Конечные выключатели $ВК1$ и $ВК2$ служат для предотвращения пуска при открытом ограждении товарного механизма и выключенной муфте главного привода машины.

Круглофанговая машина с неподвижным игольным цилиндром английской фирмы Bentley модели RTR-8 предназначена для выработки полурегулярных изделий в виде купонов. Машина приводится в движение двухскоростным асинхронным электродвигателем D .

Электрическая схема управления электроприводом машины представлена на рис. 72. Питание схемы обеспечивается от трансформатора Tr с тремя вторичными обмотками на 110; 24 и 12 в. Пуск машины производится нажатием пусковой кнопки $КП$. При этом срабатывает реле пуска $РП$, становится на самоблокировку и подготавливает цепь питания контакторов $КБ$ и $КМ$ большой и малой скорости.

тание реле времени *PВ*, которое подготавливает цепь электромагнитного тормоза *ЭМТ* к работе.

При нажатии кнопки *КС* («Стоп») или при срабатывании одного из технологических контактов *ТК1 — ТК6* получает питание реле останова *РО*, которое обесточивает цепь питания реле *РП* и контакторов *КБ*, *КМ*, а также включает электромагнит тормоза *ЭМТ*. Последний отключается с выдержкой времени, определяемой постоянной времени разряда конденсатора *С*, включенного параллельно обмотке реле *PВ*. Сигнальные лампы *Л1 — Л6* включаются только при останове машины. Схема предусматривает пуск машины на малой скорости вручную при помощи кнопки пуска толчком *КПТ*. Размыкающие контакты тепловых реле *РТ1* и *РТ2*, предохраняющих двигатель от перегрузки, установлены в цепи первичной обмотки трансформатора *Тр*.

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПЛОСКОФАНГОВЫХ МАШИН

Плосковязальный полуавтомат ПВПЭМ (схема управления электроприводом которого приведена на рис. 73) предназначен для изготовления полурегулярных изделий (рукава полочки, спинки, воротники) верхнего трикотажа различных размеров и фасонов из шерстяной, полушерстяной, хлопчатобумажной и других видов пряжи. На полуавтомате можно выработать трикотаж вида гладь, чулочное вязание, ластик, фанг, полуфанг (прессовые переплетения), а также трикотаж со сдвигом и игольный жаккард.

Полуавтомат снабжен программным устройством, которое позволяет в процессе работы производить: сдвиг игольницы, смену нитей различных цветов, прибавку игл, увеличение хода каретки в соответствии с прибавкой игл, переключение замочных клиньев на задней стороне каретки.

Программа работы отдельных механизмов набирается плашками, винтами, колками на дисках или барабанчиках, для поворота которых на один шаг используется храповая передача от электромагнитов *ЭМ1 — ЭМ3*. Импульсное питание электромагнитов осуществляется с помощью конечных выключателей *ВК1*, *ВК2* и *ВК3*, на которые воздействуют рычаги специального программного устройства.

Замочная каретка получает движение от сдвоенной электромагнитной муфты ЭММ1 и ЭММ2 посредством цепных передач, промежуточной каретки и соединительного устройства. Величина хода каретки в начале вязания устанавливается вручную в зависимости от начальной заправочной ши-

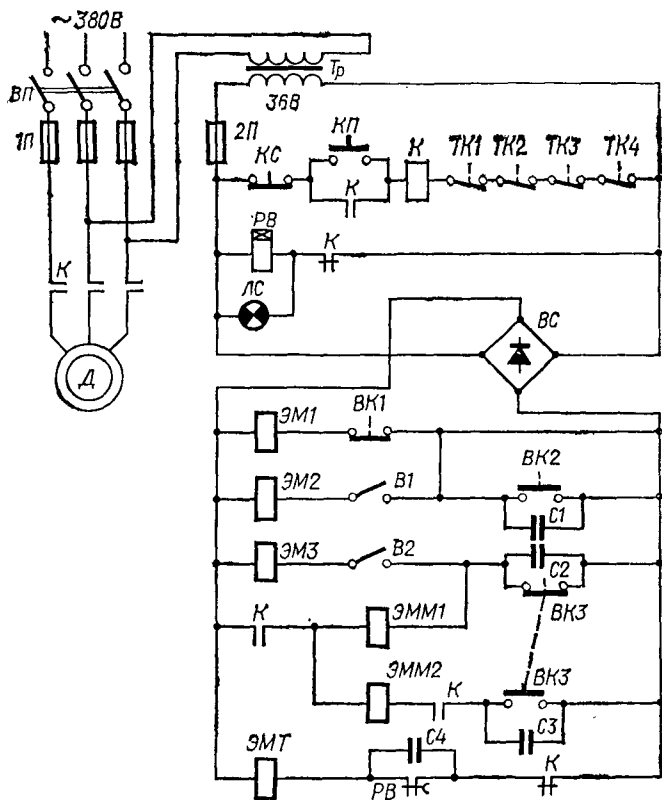


Рис. 73. Схема управления электроприводом плосковязального полуавтомата ПВПЭМ.

рины изделия и автоматически меняется в соответствии с прибавкой игл.

Пуск машины осуществляется нажатием кнопки КП, включающей контактор К. При срабатывании контактора получает питание электродвигатель машины Д, отключается цепь питания электромагнитного тормоза ЭМТ и замыкаются цепи питания электромагнитных муфт ЭММ1 и ЭММ2. Электромагниты ЭМ1, ЭМ2 и ЭМ3, которые производят

соответственно прибавку игл, сдвиг игольницы и переключение нитеводителей для смены нитей различных цветов, включаются автоматически контактами конечных выключателей $BK1$, $BK2$ и $BK3$. Тумблеры $B1$ и $B2$ включаются вручную. Конденсаторы $C1 - C4$ обеспечивают искрогашение на контактах конечных выключателей.

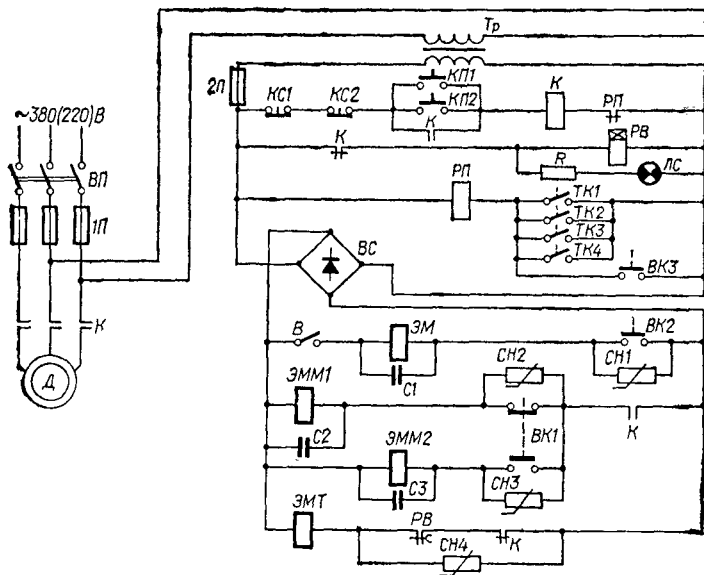


Рис. 74. Схема управления электроприводом плоскофангового полуавтомата МПФ-2.

При срабатывании одного из технологических контактов или при нажатии кнопки $КС$ обесточивается контактор K и получает питание электромагнит тормоза $ЭМТ$. Контакт $РВ$ реле времени, срабатывающего при останове машины, размыкается с выдержкой времени, необходимой для торможения машины. Питание всех электромагнитов осуществляется постоянным током от селенового выпрямителя $ВС$.

Аналогичную схему управления (рис. 74) имеет плоскофанговый полуавтомат МПФ-2, предназначенный для выработки деталей изделий верхнего трикотажа из различных видов пряжи. В отличие от ПВПЭМ, машина МПФ-2 снабжена только устройством прибавки игл при помощи электромагнита $ЭМ$ и устройством изменения хода замочной каретки в соответствии с прибавкой игл.

Конденсаторы $C1$, $C2$, $C3$ вместе с варисторами $CH1$, $CH2$ и $CH3$ обеспечивают искрогашение на контактах конечных выключателей $BK1$ и $BK2$. Искрогашение на контактах реле времени PB осуществляется с помощью варистора $CH4$. Останов машины при технологической неисправности осуществляется с помощью промежуточного реле PP , размыкающий контакт которого установлен в цепи катушки контактора K . Реле PP срабатывает при замыкании любого из технологических контактов $TK1$ — $TK4$.

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ ОСНОВОВЯЗАЛЬНЫХ МАШИН

Основовязальные машины предназначены для выработки трикотажного полотна с различным переплетением. К таким машинам относятся СК-54, Кокетт-2, ОВ-7, ОВ-10 и др.

На рис. 75 приведена электрическая схема управления электроприводом машины ОВ-7. Эта машина имеет три двигателя: главный $D1$, малых оборотов $D2$ и маслонасоса $D3$. Все три двигателя управляются двумя трехкнопочными станциями. Включение главного двигателя осуществляется одной из кнопок «Пуск» $KП1$ или $KП2$, при этом автоматически включается и двигатель масляного насоса. Кнопками «Тихий ход» $KП3$ или $KП4$ вводится в работу двигатель малых оборотов. Он имеет два режима: нормальный и толчковый. В обоих режимах главный вал машины вращается со скоростью 19 об/мин.

При нормальном режиме работы двигателя $D2$ переключатель P должен быть замкнут. Останов двигателя при этом осуществляется одной из кнопок «Стоп» $KС1$ или $KС2$. При толчковом режиме двигатель работает только при нажатии безарретирных кнопок $KП3$ или $KП4$. Переключатель P при этом разомкнут. Останов главного двигателя также осуществляется кнопками $KС1$ или $KС2$.

На машине установлены четыре микропереключателя, обеспечивающие технологическую защиту при затяжке верхней и нижней основы ($TK1$ и $TK2$), при поднятых ушковых гребенках ($TK3$) и при отключении механизма сдвига ушковых гребенок ($TK4$). При замыкании любого из контактов $TK1$ — $TK4$ срабатывает промежуточное реле $ПП1$, обеспечивающее останов либо предотвращающее пуск машины.

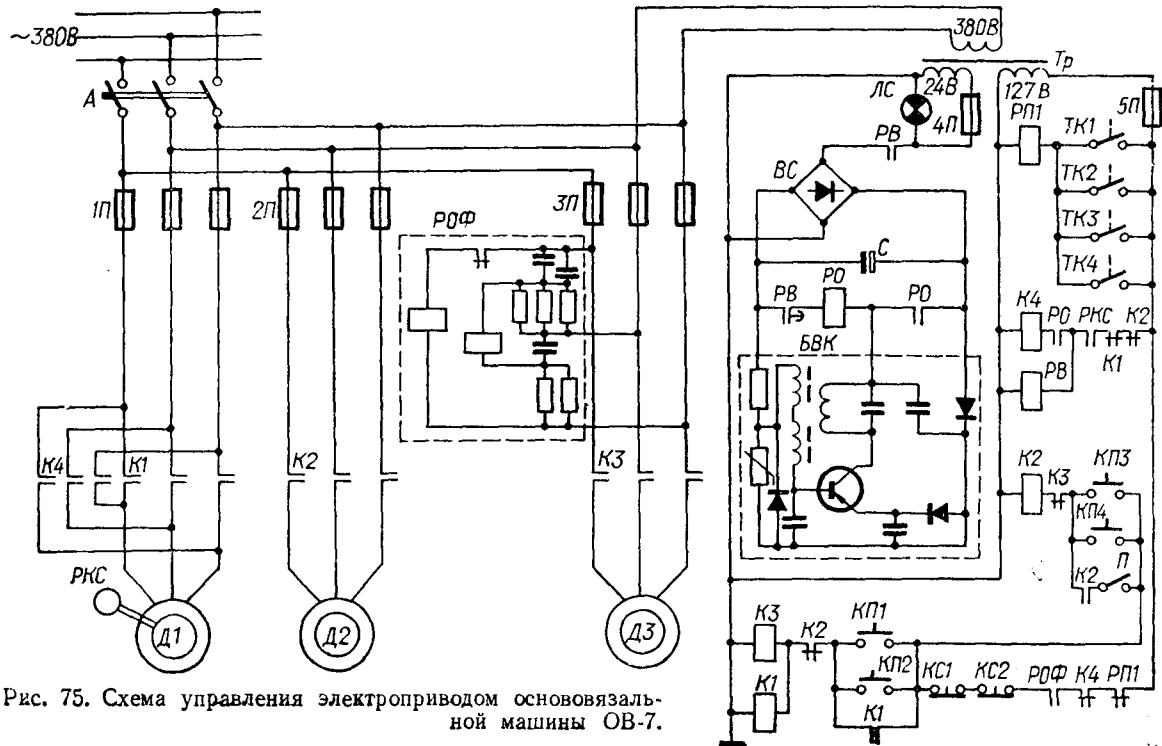


Рис. 75. Схема управления электроприводом основывальной машины ОВ-7.

Для контроля напряжения на двигателе масляного насоса используется реле обрыва фаз *РОФ*.

Известно, что при останове машины на полотне появляется поперечная полоса. Она становится менее заметной, если осуществлять останов двигателя при нижнем положении игольницы. Для этого в машине *ОВ-7* предусмотрено специальное устройство. В него входят: датчик положения игольницы *БВК*, реле времени *РВ*, реле контроля скорости *РКС*. Датчиком *БВК* является бесконтактный путевой выключатель, состоящий из релаксационного генератора, собранного на полупроводниковом триоде. В зазор магнитной системы *БВК* входит алюминиевая пластинка, закрепленная на главном валу машины. Пластинка устанавливается таким образом, что входит в зазор *БВК* в момент, соответствующий нижнему положению игольницы.

Сущность работы автоматического останова заключается в следующем: в момент подачи сигнала на отключение машины реле времени *РВ* подает питание на выпрямитель *ВС*, а с выдержкой времени — в коллекторную цепь транзистора путевого выключателя *БВК*. В определенный момент срабатывает *БВК* и выключается реле останова *РО*, которое становится на самоблокировку и включает контактор *К4*, обеспечивающий торможение противовключением главного двигателя *Д1*. Реле контроля скорости *РКС* обеспечивает такой режим останова машины, при котором торможение двигателя происходит на нижнем участке кривой выбега, что соответствует примерно 75 об/мин главного вала. Этим значительно уменьшаются динамические нагрузки на узлы и механизмы машины. При размыкании контакта *РКС* торможение двигателя прекращается.

Схема управления электроприводом машины *СК-54* с автоматической доводкой игольницы в нижнее положение приведена на рис. 76. Машина снабжена двумя двигателями: главным *Д1* и малых оборотов (8 об/мин) — *Д2* для доводки игольницы в нижнее положение. Изменением сопротивлений в цепи фазного ротора двигателя *Д1* устанавливают требуемую скорость машины. Включение машины осуществляется при нажатии кнопки «Пуск» *КП1*, подающей питание контактору *К1*.

Контактор *К2* осуществляет торможение главного двигателя *Д1* машины противовключением. Срабатывание контактора *К2* происходит после отключения контактора *К1*,

при этом контакты реле контроля скорости *РКС* находятся еще в замкнутом состоянии.

Срабатывание этого реле происходит при достижении скорости двигателя 20—25% от номинального значения. Двигатель *Д2* включается нажатием кнопки *КП2*.

Конечные выключатели *ВК1* и *ВК2* служат для автоматического останова машины при затяжке нитей нижней и

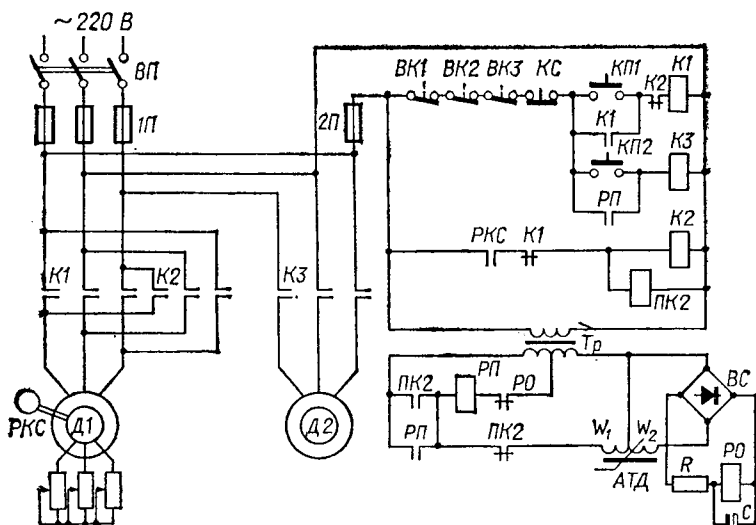


Рис. 76. Схема управления электроприводом основоуязальной машины СК-54.

верхней основы. Выключатель *ВК3* предотвращает пуск при поднятой верхней гребенке.

Киевским технологическим институтом легкой промышленности было разработано устройство автоматической доводки игольницы в нижнее положение. Для этого параллельно обмотке контактора *К2* подключается вспомогательное реле *ПК2*, срабатывание которого в момент начала торможения обеспечивает включение промежуточного реле *РП*. Это реле, в свою очередь, включает контактор *К3* двигателя *Д2* малого хода и подготавливает цепь питания автотрансформаторного датчика *АТД* положения игольницы машины. Главный вал машины в процессе торможения противовключением через обгонную муфту приводится от главного двигателя *Д1*, так как его скорость выше скорости двигателя *Д2*.

тели *ВК1* и *ВК2*), блокировку гребенок (*ВК3* и *ВК4*) и автоматический останов при наработке заданной длины полотна. В последнем случае срабатывает конечный выключатель *ВК5* при помощи специального счетчика метража. Включение двигателя малого хода производится безарретирными кнопками *КП4* и *КП5*.

На машине Кокетт-2 применяются механизмы нитеподдачи, в которых изменение передаточного отношения вариаторов скорости в передаче от главного вала к валу навоя осуществляется с помощью электромеханических устройств, контролирующих натяжение нитей и воздействующих на промежуточные элементы вариаторов скорости.

При отклонении натяжения нитей верхней основы замыкается один из контактов *ВКВ1* или *ВКВ2*. Причем контакт *ВКВ1* замыкается при увеличении натяжения, а *ВКВ2* при уменьшении. Замыкание указанных контактов вызывает срабатывание соответствующего промежуточного реле *РПВ1* (или *РПВ2*), которое включает электромагнит *ЭМВ1* (или *ЭМВ2*), воздействующий на механизм изменения передаточного отношения вариатора скорости с тем, чтобы увеличить (или уменьшить) скорость вала навоя. Для последующего отключения промежуточного реле и электромагнита применяется импульсное питание указанных цепей, что обеспечивается при помощи электромеханического прерывателя *ЭМП*, связанного с главным валом машины.

Устройство управления механизмом подачи нижней основы (контакты *ВКН1*, *ВКН2* и соответствующие реле и электромагниты) работает аналогично.

СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ СНОВАЛЬНЫХ МАШИН

Для получения основовязаного трикотажа пряжа, поступающая на основовязальную машину, должна иметь форму основы, состоящей из системы параллельно расположенных нитей. В процессе подготовки к вязанию пряжа навивается на сновальный валик или сновальные катушки, образующие навой. Навивание пряжи с бобин и бутылочных шпуль на сновальные катушки осуществляется сновальными машинами. От качества основы зависит качество вырабатываемого полотна и производительность основовязальных машин. Поэтому сновальные машины должны

обеспечивать равномерное натяжение нитей по всей длине основы, их взаимную параллельность и одинаковую длину, а также строго цилиндрическую поверхность наснованных на катушку нитей. Различают секционные и ленточные сновальные машины.

Схема управления ленточной машиной приведена на рис. 78. При нажатии одной из пусковых кнопок *КП1*, *КП2* или *КП3* получает питание контактор *К*, включающий

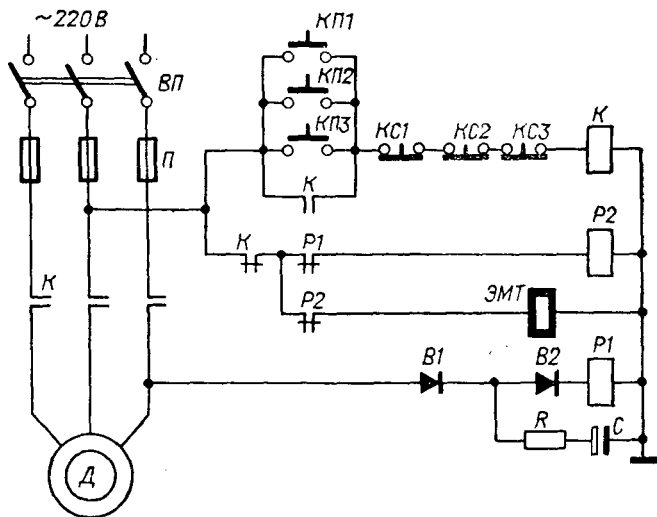


Рис. 78. Схема управления электроприводом ленточной сновальной машины.

электродвигатель *Д*. Одновременно отключается цепь электромагнитного тормоза *ЭМТ*. При работе машины получает питание реле *Р1* и происходит заряд конденсатора *С*. Реле *Р2* обесточено и его размыкающий контакт подготавливает цепь питания электротормоза *ЭМТ* к работе.

При останове машины электромагнит тормоза получает питание через размыкающий контакт контактора *К* и находится под напряжением в течение времени, необходимого для торможения машины. Время торможения определяется временем разряда конденсатора *С*, который питает обмотку реле *Р1* после отключения машины. Диоды *В1* и *В2* служат для выпрямления тока питания реле *Р1*. Диод *В2*, к тому же, предотвращает повторное включение этого реле. Цепи

запирания лампы. Анодное напряжение на лампу подается от другой части вторичной обмотки трансформатора $Tr2$ через диод $B1$ и конденсатор фильтра $C1$, служащий так же, как и конденсатор $C2$, для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения.

При срабатывании одного из технологических контактов TK на сетку лампы подается напряжение, направленное навстречу напряжению $U_{см}$. При этом возникает анодный ток в лампе, вызывающий срабатывание промежуточного реле $РП1$. Замыкающие контакты этого реле воздействуют на реле останова PO и промежуточное реле $РП2$. В результате машина останавливается, а реле $РП2$, став на самоблокировку, включает цепи световой сигнализации и приводит в исходное состояние схему электронного реле. Чтобы обесточить реле $РП2$ и привести в исходное состояние всю схему управления после устранения обрыва нити, необходимо нажать кнопку $ПУ$.

Глава 3

ПРИБОРЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ ПРИБОРОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В системах автоматического контроля широко используются электрические методы измерения неэлектрических технологических параметров с помощью генераторных и параметрических преобразователей. Это обусловлено удобством преобразования, усиления и передачи электрических сигналов, а также быстродействием, высокой чувствительностью и простотой конструкции электрических измерительных приборов.

Выходная величина измерительного преобразователя (э. д. с., активное и реактивное сопротивление) преобразуется в удобный для последующего использования вид в измерительных схемах.

Э. д. с. генераторного преобразователя наиболее просто может быть измерена непосредственным его подключением

к измерительному прибору. Например, неизвестную э. д. с. E_x измеряют с помощью милливольтметра mV (рис. 80). В такой схеме показания милливольтметра пропорциональны величине тока, проходящего через его рамку. Поэтому здесь возможны погрешности из-за изменения сопротивления внешней цепи и изменения сопротивления рамки милливольтметра.

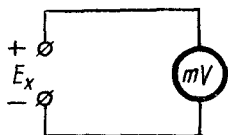


Рис. 80. Схема непосредственного включения генераторного преобразователя.

На рис. 81 показана компенсационная схема включения генераторного преобразователя. Принцип работы этой схемы основан на уравнивании (компенсации) э. д. с. E_x преобразователя известной разностью потенциалов на калиброванном сопротивлении, образованной вспомогательным источником питания E . При измерении переключатель Π находится в положении $И$ («измерение»). Для уравнивания схемы перемещают движок реохорда R до тех пор, пока гальванометр не укажет отсутствие тока. В этом случае падение напряжения на сопротивлении части реохорда R_x равно величине измеряемой э. д. с.:

$$E_x = IR_x, \quad (24)$$

где I — рабочий ток.

Таким образом, в момент компенсации ток в цепи источника э. д. с. E_x отсутствует и его сопротивление не влияет на точность измерения. Результат измерения определяется положением движка реохорда, шкала которого может градуироваться в единицах E_x или первичной измеряемой величины.

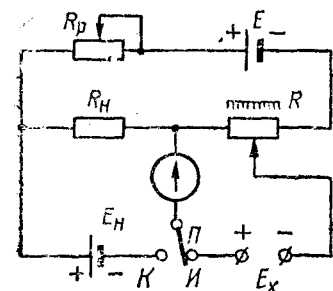


Рис. 81. Компенсационная схема включения генераторного преобразователя.

Для обеспечения высокой точности измерения рабочий ток должен иметь строго определенное значение. С этой целью перед измерением переключатель Π переводится в положение $К$ («контроль») и перемещением движка регулируемого резистора R_p устанавливается равенство между падением напряжения на сопротивлении образцового резистора R_N и встречно направленной э. д. с. E_N нормального элемента (или другого высокостабильного источника).

Для измерения сопротивлений параметрических преобразователей чаще всего применяются мостовые и дифференциальные измерительные схемы, а также схемы с логометрами.

На рис. 82 приведена схема неравновесного моста $ACBD$, который питается от источника постоянного тока U . Ток измерительной диагонали CD моста, протекающий через прибор с внутренним сопротивлением R_n , равен

$$I = \frac{U(R_1R_3 - R_2R_4)}{R_n(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_1R_2(R_3 + R_4) + R_3R_4(R_1 + R_2)}. \quad (25)$$

Если в одно из плеч моста включен измерительный преобразователь, сопротивление которого зависит от величины контролируемого параметра, а сопротивления остальных плеч постоянны и заранее известны, то ток измерительной диагонали моста является функцией сопротивления преобразователя. Кроме того, ток I пропорционален напряжению U в диагонали AB питания моста. Поэтому для повышения точности измерения напряжение питания должно быть стабилизированным.

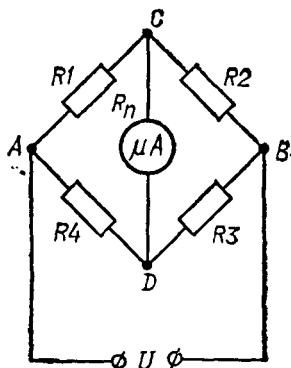


Рис. 82. Схема неравновесного моста.

Для повышения чувствительности мостовой схемы или для компенсации влияния побочных факторов применяются комбинированные датчики, состоящие из нескольких

преобразователей, включаемых в различные плечи моста. Два преобразователя дифференциального датчика, имеющие различные знаки приращения сопротивления, включаются в смежные плечи моста; преобразователи с одинаковыми знаками приращения сопротивления включаются в противоположные плечи.

Как следует из формулы (25), ток в измерительной диагонали моста отсутствует, если выполняется условие равновесия

$$R_1R_3 = R_2R_4. \quad (26)$$

Если сопротивление одного из плеч моста неизвестно, то его можно определить по известным сопротивлениям других плеч в состоянии равновесия схемы на основании условия (26).

На рис. 83 приведены схемы равновесных мостов, в измерительных диагоналях которых включены гальванометры. Равновесие мостов при отклонении измеряемого сопро-

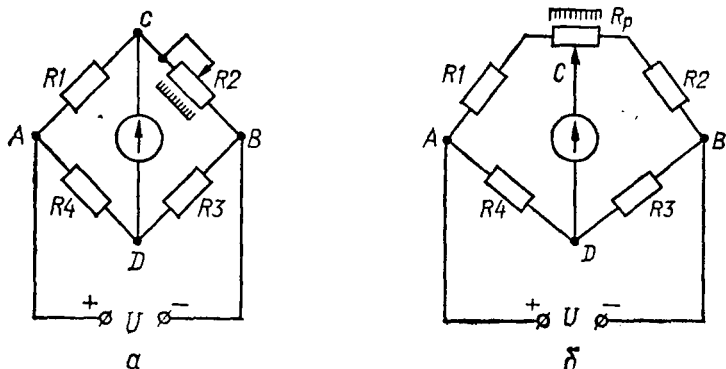


Рис. 83. Схема равновесного моста:

a — с изменением сопротивления плеча; *b* — с изменением отношения сопротивлений плеч.

тивления устанавливается изменением сопротивлений калиброванных резисторов: по схеме рис. 83, *a* — изменением сопротивления R_2 в одном из плеч моста, по схеме рис. 83, *b* — одновременным изменением сопротивлений двух плеч моста при помощи реохорда R_p . Преимуществом равновесных мостов является независимость результатов измерения от величины напряжения питания U .

Условие равновесия моста переменного тока (рис. 84) имеет вид

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4, \quad (27)$$

где $Z_1 - Z_4$ — комплексные сопротивления плеч. Если комплексные сопротивления представить в показательной форме $Z_1 = z_1 e^{i\varphi_1}$; $Z_2 = z_2 e^{i\varphi_2}$; $Z_3 = z_3 e^{i\varphi_3}$ и $Z_4 = z_4 e^{i\varphi_4}$, то условие равновесия (27) распадается на два равенства: равенство произведений модулей сопротивлений противоположных плеч и равенство сумм фазовых углов сопротивлений противоположных плеч

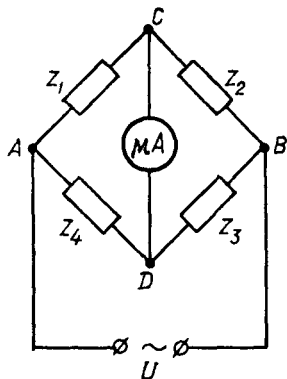


Рис. 84. Схема моста переменного тока.

$$\left. \begin{aligned} z_1 z_3 &= z_2 z_4; \\ \varphi_1 + \varphi_3 &= \varphi_2 + \varphi_4. \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

При балансировке моста для удовлетворения этих равенств необходимо иметь орган регулировки для изменения модуля сопротивления какого-либо плеча, а также орган регулировки для изменения фазового угла сопротивления какого-либо плеча. При измерении только активных сопротивлений второе равенство из условия (28) теряет смысл, и достаточно одного органа регулировки.

При измерении реактивных сопротивлений (индуктивных и емкостных) в соседние плечи моста включают сопро-

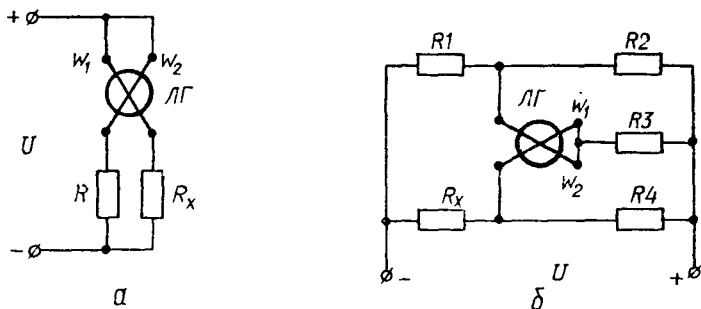


Рис. 85. Схемы логометра:

a — принципиальная схема; *б* — мостовая схема включения рамок логометра и преобразователя.

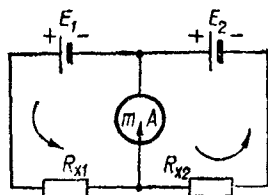
тивления с одинаковым характером реактивности, а в противоположные — сопротивления с различным характером реактивности. Например, если сопротивление Z_1 носит индуктивный характер, то сопротивление Z_3 противоположного плеча должно иметь емкостный характер; в других плечах моста при этом могут быть применены чисто активные сопротивления. Мосты переменного тока для измерения реактивных сопротивлений обычно питаются от генератора повышенной частоты.

Для измерения сопротивления некоторых параметрических преобразователей применяются магнитоэлектрические логометры, реагирующие на изменение отношения токов в двух жестко связанных между собой рамках. Простейшая схема для измерения сопротивления R_x при помощи логометра ЛГ показана на рис. 85, *a*. Здесь ток в рамке w_1 зависит от величины измеряемого сопротивления R_x , а ток в рамке w_2 постоянен и определяется величиной неизменного сопротивления R . Поэтому отклонение стрелки логометра однозначно связано с величиной сопротивления R_x .

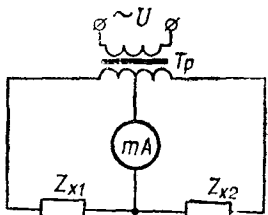
Рамки логометра часто включаются в мостовую схему (рис. 85, б). Обычно такая мостовая схема симметрична, т. е. $R_2 = R_4$. Тогда при $R_x = R_1$ мост уравновешен и через рамки логометра протекают равные токи.

При $R_x \neq R_1$ мост оказывается неуравновешенным и через рамки протекают различные токи, отношение которых зависит от величины сопротивления R_x .

На рис. 86 приведены дифференциальные схемы включения параметрических преобразователей. Дифференциальная схема состоит из двух электрических контуров с одной общей ветвью. При равенстве сопротивлений контуров результирующий ток



а



б

Рис. 86. Дифференциальные схемы включения параметрических преобразователей: а — на постоянном токе; б — на переменном токе.

в общей ветви отсутствует; при увеличении одного из сопротивлений и соответственном уменьшении другого в общей ветви возникает ток, равный разности токов обоих контуров.

При постоянстве сопротивлений контуров подобные схемы могут использоваться для включения дифференциальных генераторных преобразователей.

ЭЛЕКТРОННЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И РЕГИСТРИРУЮЩИЕ ПРИБОРЫ

При контроле технологических параметров широко применяются различные приборы с автоматическим уравниванием измерительных схем при помощи электромеханической следящей системы.

Уравнивание напряжений осуществляется в электронных автоматических потенциометрах, предназначенных для измерения малых напряжений (или э. д. с.) или других величин, преобразованных в напряжения. Наиболее часто электронные потенциометры применяются для контроля температуры, рН и определения состава газа.

На рис. 87 показана принципиальная схема потенциометра типа КСПЗ. Потенциометр работает в комплекте с термопарой, э. д. с. E_x которой, пропорциональная разности температур рабочего и свободного концов, сравнивается с компенсирующим напряжением U_{CD} , снимаемым с измерительной диагонали неуравновешенного моста $ACBD$. При постоянном напряжении питания и неизменных сопротивлениях моста R_H , R_6 , R_K и R_M напряжение U_{CD} зависит только от положения движка реохорда R_p .

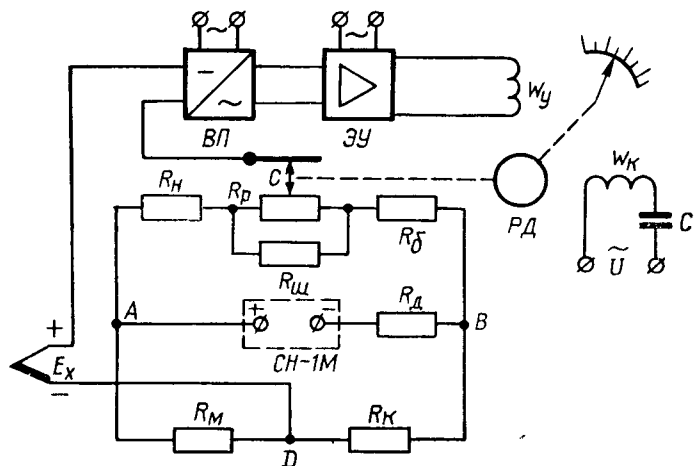


Рис. 87. Принципиальная схема электронного автоматического потенциометра типа КСПЗ.

Схема уравновешена, если $E_x = U_{CD}$. При отклонении температуры изменяется э. д. с. E_x и возникает сигнал рассогласования $\Delta U = E_x - U_{CD}$, который преобразуется в напряжение переменного тока с помощью вибропреобразователя $ВП$, а затем усиливается по напряжению и мощности электронным усилителем $ЭУ$. С выхода усилителя сигнал поступает на управляющую обмотку реверсивного двигателя $РД$. Двигатель начинает вращаться в направлении, определяемом знаком рассогласования, перемещая при этом с помощью механической передачи движок реохорда R_p вместе с показывающей и записывающей системами. Вращение двигателя прекращается при достижении движком реохорда такого положения, при котором напряжение U_{CD} становится равным новому значению э. д. с. E_x . Стрелка прибора при этом указывает температуру рабоче-

го конца термопары. Резистор $R_{ш}$, включенный параллельно реохорду, служит для подгонки пределов измерения потенциометра. Резистор R_m выполнен из медной проволоки и располагается на входной панели прибора в одинаковых температурных условиях со свободными концами термопары. При отклонениях температуры окружающей среды одновременно изменяются термо-э. д. с. свободных концов термопары и падение напряжения на сопротивлении R_m .

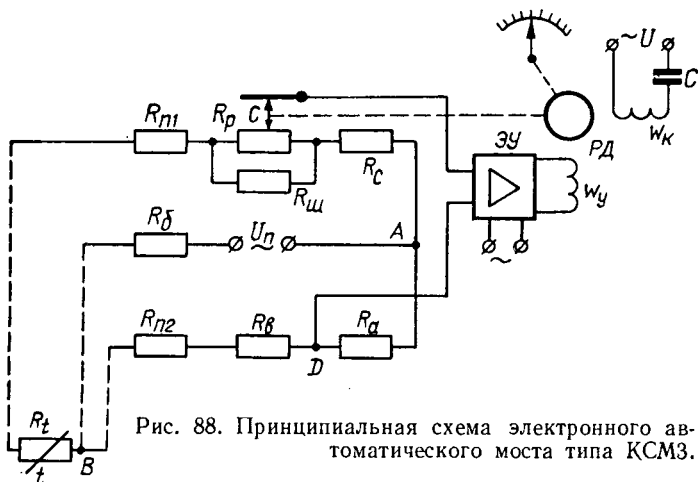


Рис. 88. Принципиальная схема электронного автоматического моста типа КСМЗ.

Эти изменения в сигнале, поступающем к усилителю, взаимно компенсируются.

Питание мостовой схемы прибора осуществляется от стабилизированного источника выпрямленного напряжения типа СН-1М, вследствие чего отпадает необходимость контроля и регулирования рабочего тока измерительной схемы.

Для измерения сопротивления или других величин, преобразованных в изменение сопротивления, используются электронные автоматические мосты. Наиболее широко автоматические мосты в комплекте с проволочными терморезисторами применяются для контроля температуры.

На рис. 88 показана принципиальная схема моста типа КСМЗ с присоединенным к нему терморезистором R_T . Терморезистор включен в схему равновесного моста $ACBD$, питаемого от источника U_n переменного тока. Резисторы измерительной схемы R_A , R_B , R_C выполнены из манганиновой проволоки.

При отклонении контролируемой температуры изменяется сопротивление терморезистора R_t , что приводит к возникновению напряжения в измерительной диагонали моста CD . Это напряжение усиливается электронным усилителем $\mathcal{E}У$ и приводит в действие реверсивный двигатель $РД$. Направление вращения двигателя зависит от знака отклонения температуры. При вращении двигатель перемещает движок реохорда R_p и показывающую стрелку прибора до тех пор, пока мост не уравнивается. В момент равновесия стрелка прибора указывает температуру контролируемой среды.

Проволочный терморезистор может присоединяться к прибору по двухпроводной или трехпроводной схеме. На рис. 88 показана трехпроводная схема подключения терморезистора, при которой одна из линий оказывается в диагонали питания, а две других входят в смежные плечи моста CB и BD . Все соединительные провода находятся в равных условиях, вследствие чего при колебаниях температуры окружающей среды сопротивления указанных плеч моста претерпевают равные изменения. В результате компенсируется влияние нестабильности сопротивлений соединительных линий на положение равновесия моста. Для приведения сопротивлений соединительных линий к определенному номиналу в приборе используются подгоночные катушки с сопротивлениями $R_{п1}$ и $R_{п2}$.

Для непрерывного измерения различных неэлектрических величин, преобразованных в линейное перемещение, применяются дифференциально-трансформаторные датчики в комплекте с дифференциально-трансформаторными вторичными приборами.

Указанные вторичные приборы нашли широкое распространение для контроля расхода, уровня, абсолютного и избыточного давления, перепада давления и т. д.

На рис. 89 показана принципиальная схема вторичного прибора типа КСДЗ с присоединенным к нему датчиком D , имеющим на выходе дифференциально-трансформаторный преобразователь. При изменении контролируемого параметра перемещается сердечник датчика, что приводит к изменению напряжения в его встречно включенных вторичных обмотках. Амплитуда и фаза этого напряжения зависят от положения сердечника.

Вторичный прибор имеет аналогичный дифференциально-трансформаторный преобразователь, сердечник которого может перемещаться реверсивным двигателем $РД$ при

помощи профилированной шайбы ПШ. Напряжения с выхода датчика и преобразователя вторичного прибора включены встречно и их разность через делители $R1$ и $R2$ подается к усилителю, управляющему реверсивным двигателем. Двигатель вращается, перемещая указывающую стрелку и сердечник преобразователя вторичного прибора до тех пор, пока схема не уравновесится. Таким образом, каждому значению контролируемого параметра соответствуют вполне

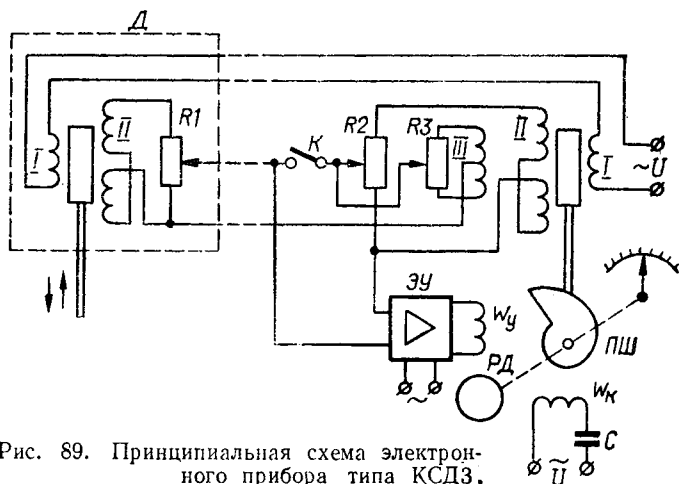


Рис. 89. Принципиальная схема электронного прибора типа КСДЗ.

определенные положения сердечника и показывающей системы во вторичном приборе.

Для облегчения установки нулевого положения вторичного прибора в его преобразователе предусмотрена дополнительная обмотка III, включенная последовательно в цепь вторичных обмоток. Обмотка III зашунтирована сопротивлением переменного резистора $R3$. Знак и величина напряжения, снимаемого со средней точки обмотки III и движка резистора $R3$, зависят от положения этого движка.

На рис. 90 показана схема вторичного ферродинамического прибора типа КСФЗ с подключенным к нему датчиком Д, имеющим на выходе ферродинамический преобразователь. Прибор может работать также с датчиком с дифференциально-трансформаторным преобразователем на выходе.

В качестве компенсирующего элемента в приборе используется ферродинамический преобразователь типа ПФ.

напряжение поворотной рамки которого направлено навстречу напряжению измерительного преобразователя.

При отклонении контролируемого параметра поворачивается рамка измерительного преобразователя, и напряжение разбаланса схемы через электронный усилитель ЭУ воздействует на реверсивный двигатель РД. Последний с помощью профильной шайбы перемещает рамку компенсирующего преобразователя. При равновесии схемы каждой

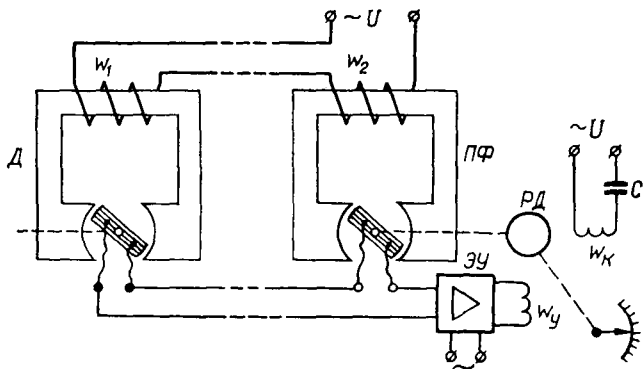


Рис. 90. Принципиальная схема ферродинамического прибора типа КСФЗ.

величине контролируемого параметра соответствует определенное положение рамки и показывающей системы вторичного прибора.

Приборостроительная промышленность выпускает различные модификации электронных автоматических измерительных приборов, которые позволяют производить контроль технологических параметров в одной или нескольких точках (многоточечные приборы), а также осуществлять регистрацию показаний на дисковой или ленточной диаграмме. Диаграмма приводится в движение специальным синхронным двигателем. Этот же двигатель производит переключение точек контроля в многоточечных приборах. Приборы размещаются в унифицированных корпусах и имеют взаимозаменяемые блоки. В большинстве автоматических компенсаторов применяются полупроводниковые электронные усилители. В ряде приборов предусматривается дистанционная передача показаний на дублирующий прибор с помощью реостатного устройства.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ

Приборы для измерения температуры в зависимости от физических свойств, положенных в основу их построения, разделяются на следующие группы.

Термометры расширения основаны на свойстве тел изменять под действием температуры объем, а следовательно, и линейные размеры.

Манометрические термометры основаны на изменении давления жидкости, газа или пара, помещенных в замкнутом объеме, при изменении температуры.

Электрические термометры сопротивления основаны на изменении сопротивления проводников и полупроводников в зависимости от температуры.

Термоэлектрические приборы основаны на зависимости термо-э. д. с. термопары от температуры.

Пирометры излучения основаны на изменении излучаемой нагретыми телами энергии.

К термометрам расширения относятся жидкостные dilatометрические и биметаллические. Среди жидкостных для визуального отсчета наиболее часто применяются ртутные термометры с пределами измерений от -25 до $+500^{\circ}\text{C}$.

Для автоматической сигнализации температуры часто пользуются электроконтактными ртутными термометрами. В них имеется контактное устройство с постоянным или переменным положением, замыкающееся при достижении ртутным столбиком заданной температуры.

Манометрический термометр представляет собой заполненный рабочим веществом термобаллон, который с помощью капиллярной трубки соединен с манометрической пружиной, воздействующей на показывающее устройство. Сигнализирующие манометрические термометры снабжаются электроконтактным устройством.

Электрические термометры сопротивления в качестве преобразователей температуры содержат проволочные или полупроводниковые терморезисторы. В простейших случаях измерение температуры сводится к измерению тока в цепи с включенным преобразователем.

Проволочные терморезисторы обычно используются в комплекте с логометрами или электронными автоматическими мостами. Подключение терморезисторов к измерительной схеме прибора осуществляется, как правило, по трехпроводной схеме.

Для измерения температуры применяются показывающие логометры с профильной шкалой типов ЛПр-53, ЛПр-54. Логометры ЛР1, ЛР-64-02 и ЛР-64-03 дополнительно имеют встроенные фотореле, срабатывающие при заданном положении стрелки прибора, на которой установлен флажок, перекрывающий световой луч от осветителя к фотоэлементу. Указанные фотореле используются в целях сигнализации и регулирования температуры. Логометры ЛСЦПр-018 — самопишущие щитовые приборы. Они выпускаются на одну, две или шесть точек измерения температуры.

Электронные автоматические мосты КВМ1 являются показывающими приборами на 16 или 12 точек измерения температуры. В них используется вращающийся цилиндрический циферблат, перемещающийся относительно неподвижного указателя. Мосты КМС1 и КМС3 — это одноточечные показывающие и регистрирующие приборы соответственно с ленточной и дисковой диаграммой. Мосты КСМ2 и КСМ4 являются многоточечными (на 1; 3; 6 или 12 точек) с регистрацией показаний на ленточной диаграмме.

К термоэлектрическим приборам относятся работающие в комплекте с термопарами магнитоэлектрические милливольтметры и электронные автоматические потенциометры.

Как указывалось выше, термо-э. д. с. однозначно связана с температурой рабочего конца термопары только при постоянстве температуры свободного конца. Чтобы отнести свободные концы термопары в зону с постоянной температурой, применяют компенсационные провода, состоящие из проводников, имеющих одинаковые термоэлектрические свойства с термоэлектродами термопары.

Кроме того, вынесенные свободные концы термопары либо термостатируют, либо применяют специальные компенсационные коробки для автоматической компенсации колебаний температуры свободных концов. В автоматических потенциометрах компенсация колебаний температуры свободных концов термопары осуществляется автоматически.

Для работы с термопарами предназначены показывающие милливольтметры МПП-054 (154 и 254), показывающие щитовые милливольтметры с профильной шкалой МПЦПр-54, самопишущие щитовые милливольтметры с профильной шкалой МСЦПр-018 (для контроля в 1; 2; 3 или 6 точках). Милливольтметры типов МР1, МР-64-02, МР-64-03 имеют дополнительно двух- или трехпозиционное

фотоэлектрическое устройство для сигнализации или регулирования температуры.

Модификации электронных автоматических потенциометров типов КВП1, КСП1, КСП2, КСП3 и КСП4 аналогичны модификациям мостов КВМ1, КСМ1 — КСМ4.

Пирометры излучения применяются для измерения температуры от 100 до 6000° С. Промышленные пирометры излучения бывают двух основных типов:

1) частичного излучения (оптические и фотоэлектрические), измеряющие температуру по интенсивности монохроматического излучения (яркости) нагретого тела в лучах определенной длины волны; 2) полного излучения (радиационные пирометры), измеряющие температуру по интегральной мощности излучения нагретого тела.

В фотоэлектрических пирометрах для измерения температуры используется зависимость фототока от интенсивности светового потока, формируемого посредством светофильтра из общего излучения тела.

В радиационных пирометрах тепловые лучи от нагретого тела концентрируются при помощи собирающей линзы на термобатарее, собранной из ряда последовательно соединенных термопар. В качестве вторичных приборов, присоединяемых к термобатарее, используются милливольтметры или автоматические потенциометры.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ

Для измерения давления наиболее часто используются жидкостные и пружинные манометры. Действие жидкостных манометров основано на уравнивании измеряемого давления гидростатическим давлением столба жидкости. В жидкостных стеклянных манометрах измеряемое давление определяется высотой столба рабочей жидкости в стеклянной трубке. Для технических измерений жидкостные манометры выполняются в виде жидкостно-механических приборов. К ним относятся поплавковые, колокольные и кольцевые.

Схема поплавкового манометра показана на рис. 91. Поплавок связан с показывающей стрелкой прибора. Такой прибор используется как дифференциальный манометр для измерения перепада давления $p_1 - p_2$. Иногда поплавковый дифманометр снабжается электроконтактным устройством

в виде ртутно-стеклянных переключателей для сигнализации предельных значений давления.

Действие колокольного манометра основано на функциональной зависимости глубины погружения колокола в рабочую жидкость от разности давлений внутри и снаружи колокола (рис. 92).

Кольцевой манометр (рис. 93) содержит поворачивающуюся кольцевую трубку 2, заполненную до половины рабочей жидкостью. Перегородкой 1 трубка разделена на две

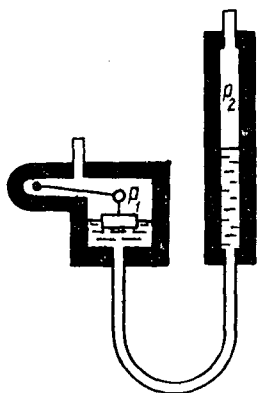


Рис. 91. Схема поплавкового манометра.

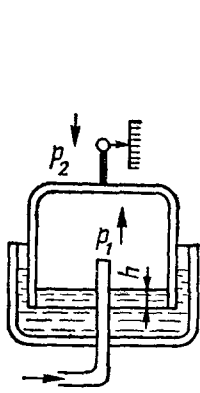


Рис. 92. Схема колокольного манометра.

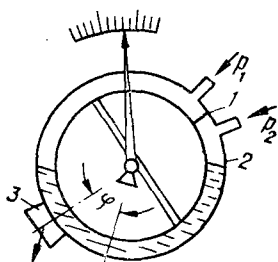


Рис. 93. Схема кольцевого манометра.

полости, к которым подводятся измеряемые давления p_1 и p_2 . Под действием разности этих давлений трубка поворачивается, уравниваясь грузом 3. Причем, синус угла φ поворота трубки пропорционален разности давлений p_1 и p_2 .

Действие пружинного манометра основано на зависимости деформации упругого элемента (пружины) от давления, подводимого внутрь или снаружи элемента. В качестве упругих элементов применяются трубчатые пружины эллиптического либо плоско-овального сечения с запаянным свободным концом (трубки Бурдона, геликоидальные и спиральные трубки), плоские мембраны и гармониковые мембраны (сильфоны). Деформация упругого элемента пружинного манометра с помощью передаточно-множительного механизма передается показывающей стрелке. Для целей сигнализации приборы иногда снабжаются электроконтактными устройствами.

Для измерения давления часто применяются дифференциально-трансформаторные и ферродинамические вторичные приборы (например, типов КСД и КСФ). При этом датчик давления состоит из двух последовательных преобразо-

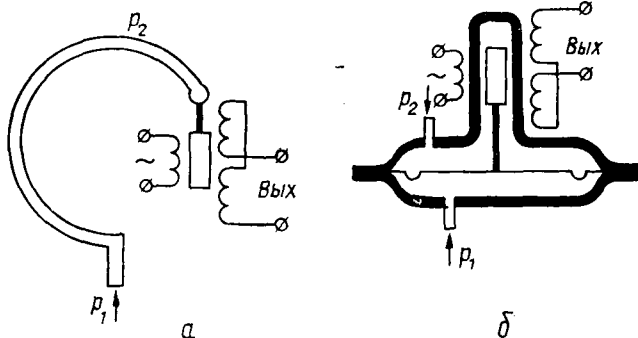


Рис. 94. Схемы дифференциально-трансформаторных датчиков давления:
 а — с трубкой Бурдона; б — с мембранным преобразователем.

вателей: преобразователя давления в механическое перемещение и дифференциально-трансформаторного преобразователя механического перемещения в электрический сигнал (рис. 94).

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И РАСХОДА ВЕЩЕСТВ

Для измерения количества и расхода жидкостей и газов, протекающих по трубопроводам, используются скоростные и объемные счетчики, определяющие суммарный объем или массу проходящего вещества за любой промежуток времени, а также расходомеры, определяющие мгновенный объемный или массовый расход вещества.

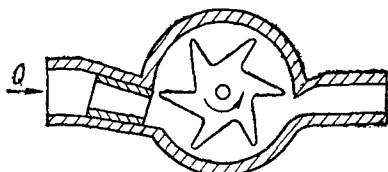


Рис. 95. Преобразователь скоростного счетчика с крыльчаткой.

В скоростных счетчиках (рис. 95) используется зависимость скорости вращения крыльчатки (или вертушки) от скорости потока Q жидкости. Число оборотов крыльчатки

суммируется связанным с ней механическим счетчиком, по показаниям которого определяется количество жидкости, проходящей за некоторый промежуток времени.

В объемных счетчиках осуществляется отмеривание порций жидкости или газа, проходящих через прибор, и суммирование результатов измерений за требуемый промежуток времени.

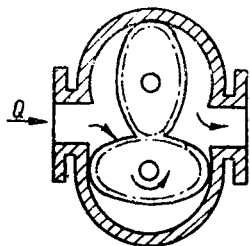


Рис. 96. Преобразователь объемного счетчика с овальными шестернями.

Схема преобразователя объемного счетчика с овальными шестернями показана на рис. 96. Проходя через преобразователь, поток жидкости или газа вызывает вращение шестерен, причем каждая из них попеременно становится через каждые четверть оборота то ведущей, то ведомой. Поэтому за один оборот шестерен отсекается четыре определенных объема, которые в сумме равны свободному

объему измерительной камеры. Количество расходуемого вещества определяется механическим счетчиком по числу оборотов шестерен.

Для измерения мгновенного значения расхода жидкостей и газов в трубопроводах диаметром 50 мм и выше применяются дроссельные расходомеры переменного перепада. При этом для уменьшения сечения потока на трубопроводе устанавливаются сужающие устройства в виде стандартных измерительных диафрагм или сопел. В результате повышения средней скорости потока в суженном сечении (рис. 97) возникает пропорциональный квадрату величины расхода перепад давления $p_1 - p_2$. Этот перепад измеряется с помощью дифференциального манометра того или иного типа.

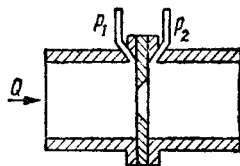
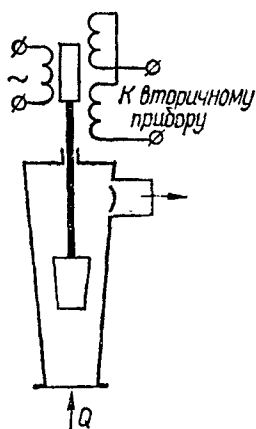


Рис. 97. Сужающая диафрагма дроссельного расходомера переменного перепада давления.

Среди расходомеров постоянного перепада наибольшее распространение получили ротаметры, принцип действия которых заключается в том, что при движении жидкости или газа снизу вверх через конусную трубку поплавков поднимается или опускается до тех пор, пока сила тяжести не уравновешивается разностью давлений до и после поплавка и выталкивающей силой. Каждому значению расхода соответствует строго определенное положение поплавка.

Причем равновесие поплавка устанавливается при постоянном перепаде давления. Ротаметры выпускаются для местного измерения расхода и с электрической либо пневматической дистанционной передачей показаний.

На рис. 98 показана схема ротаметра с дифференциально-трансформаторным преобразователем для работы в комплекте с дифференциально-трансформаторным вторичным прибором.



**ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ
ВЛАЖНОСТИ ГАЗОВ
И ТВЕРДЫХ ТЕЛ**

Для определения относительной влажности газов наиболее широко применяются психрометрический метод и метод точки росы. Психрометрический метод основан на психрометрическом эффекте, который заключается в сравнении температур двух термометров: одного — «сухого», другого — «мокрого». Интенсивность испарения с поверхности «мокрого» термометра зависит от относительной влажности окружающего газа (при определенном его давлении, температуре и скорости обтекания термометра). Поэтому разность температур «сухого» и «мокрого» термометров является функцией относительной влажности газа.

Рис. 98. Схема ротаметра с дифференциально-трансформаторным преобразователем.

В электрических психрометрах в качестве датчиков температуры используются главным образом электрические термометры сопротивления. Схема электронного психрометра типа ПЭ показана на рис. 99.

Электронный психрометр состоит из датчика и электронного автоматического моста. В датчике имеется два платиновых термометра сопротивления, один из которых смачивается дистиллированной водой из специального бачка с помощью хлопчатобумажного чулка. В приборе предусмотрено вытяжное устройство для обдувания термометров сопротивления контролируемым воздухом или газом. Измерительная схема прибора выполнена в виде двойного моста, в котором плечи $R1$ и $R3$ являются общими для обоих

мостов. В один мост включен «сухой» термометр R_{tc} , а в другой — «мокрый» R_{tm} .

Напряжение в измерительной диагонали первого моста U_{ab} пропорционально температуре сухого термометра, а напряжение измерительной диагонали второго моста U_{ac} — температуре мокрого термометра. Причем, соответствующим

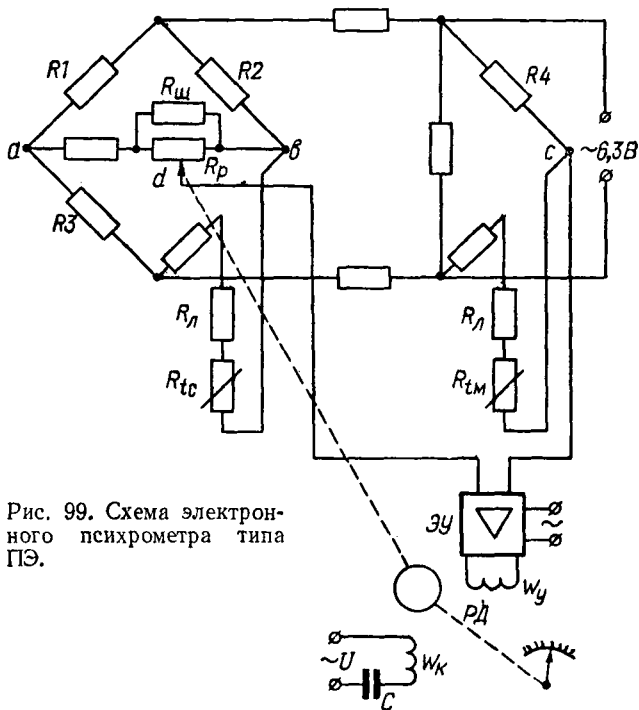


Рис. 99. Схема электронного психрометра типа ПЭ.

выбором сопротивлений обеспечивают неравенство $U_{ab} > U_{ac}$. В схеме осуществляется сравнение напряжения U_{ac} с напряжением U_{ad} , являющимся некоторой частью напряжения, приложенного между точками a и b .

При $U_{ac} = U_{ad}$ схема уравновешена. Отклонение относительной влажности газа при постоянстве его температуры вызывает изменение напряжения U_{ac} , и на вход электронного усилителя ЭУ поступает разностный сигнал $U_{ad} - U_{ac}$. На выходе усилителя установлен реверсивный двигатель РД, перемещающий движок реохорда R_r и связанный с ним указатель шкалы до положения равновесия

измерительной схемы. Таким образом, положение движка реохорда является мерой относительной влажности контролируемого газа.

Метод точки росы основан на измерении температуры, при которой влага начинает активно конденсироваться на поверхности металлического зеркала. В автоматических приборах появление точки росы определяется по ослаблению светового потока, отраженного от искусственно охлаждаемого зеркала. Световой поток воспринимает фотореле, которое управляет работой охлаждающего устройства.

Для измерения влажности воздуха находят также применение сорбционный (поглотительный) метод, основанный на свойстве некоторых гигроскопических твердых тел (например, обезжиренного человеческого волоса) изменять свои линейные размеры при изменении относительной влажности окружающей среды.

Особенно большое значение имеет контроль влажности пряжи и трикотажного полотна. В лабораторных условиях для определения влажности используют метод высушивания, который состоит в воздушно-тепловой сушке небольшой специально подготовленной навески материала до достижения ею постоянного веса. Длительность определения влажности этим методом достигает нескольких десятков часов, а при ускоренных способах высушивания — 5—40 мин. Ускоренные способы предусматривают применение радиационной сушки или сушки в высокочастотном электрическом поле и непрерывное взвешивание навески на автоматических весах.

Из косвенных методов измерения влажности наибольшее распространение получили электрические: кондуктометрические и диэлькометрические.

Действие кондуктометрических влагомеров основано на зависимости электрической проводимости или сопротивления материала от его влажности. Являясь в сухом виде диэлектриками, трикотажные материалы в результате увлажнения становятся полупроводниками. Зависимость помещенного между двумя электродами сопротивления R_x материала от его влажности ω имеет сложный характер. Причем, на величину сопротивления, кроме структуры материала и его влажности, существенное влияние оказывает, напряжение на измерительных электродах, конфигурация размеры электродов, их механическое воздействие на материал, температура окружающей среды и ряд других

факторов. Электроды кондуктометрических датчиков конструктивно выполняются в виде плоских пластин, цилиндрических трубок, роликов и т. п.

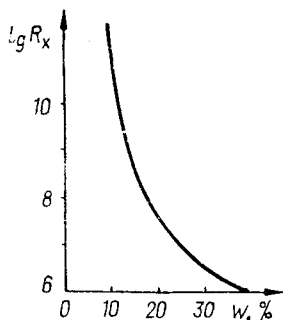


Рис. 100. Зависимость сопротивления датчика от влажности материала.

Примерный вид зависимости сопротивления датчика от влажности материала показан на рис. 100. На начальном участке характеристика $R_x(w)$ имеет высокую крутизну. Поэтому на этом участке влагомер обладает значительной чувствительностью. При повышении влажности свыше 20% для текстильных материалов чувствительность влагомера резко понижается. При этом на величину сопротивления начинают оказывать сильное влияние другие факторы, не связанные с влажностью.

Применение кондуктометрических влагомеров ограничено в области малых влажностей (3—6%) из-за трудности измерения больших сопротивлений — более 10^{11} — 10^{12} ом.

На рис. 101 показана принципиальная схема автоматического влагомера с кондуктометрическим датчиком. Контролируемый материал пропускается между двумя роликами, образуя зависимое от влажности сопротивление R_x . Это сопротивление включено в схему равновесного моста $ACDB$. Напряжение измерительной диагонали CB этого моста приложено между сетками двойного триода лампы L . Внутренние сопротивления триодов образуют два плеча другого равновесного моста $LMKN$.

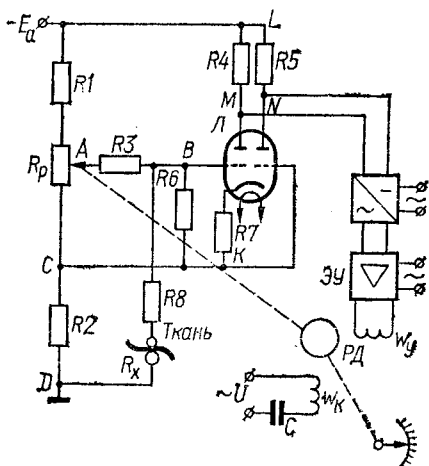


Рис. 101. Схема автоматического влагомера с кондуктометрическим датчиком.

При отклонении влажности материала возникает разбаланс первого моста, вследствие чего к сеткам обоих триодов

дов прикладываются различные напряжения и изменяются внутренние сопротивления этих триодов. В результате нарушается равновесие второго моста и реверсивный двигатель перемещает движок реохорда R_p до момента уравнивания схемы. Поскольку кривые, характеризующие зависимость сопротивления R_x от влажности, оставаясь одинаковыми по характеру, для различных видов трикотажных волокон не совпадают, то в каждом случае необходимо производить отдельную градуировку прибора.

Действие диэлькометрических, или емкостных влагомеров основано на зависимости диэлектрической проницаемости или тангенса угла диэлектрических потерь от влагосодержания материала.

Конструктивно емкостные датчики выполняются либо в виде двух плоских дисков, в зазоре между которыми находится контролируемый материал, либо в виде конденсатора с продольным полем, пластины которого лежат в одной плоскости над (или под) контролируемым материалом.

На показания емкостных влагомеров в меньшей степени оказывает влияние контактное сопротивление между электродами и материалом. Однако унифицированные влагомеры для различных трикотажных материалов отсутствуют вследствие значительного разброса зависимостей диэлектрических свойств этих материалов от влажности.

Для большинства материалов абсолютная величина емкости датчика составляет единицы и десятки пикафарад. Для измерения таких небольших емкостей с достаточной точностью обычно применяют высокочастотные резонансные измерительные схемы.

На рис. 102 приведена упрощенная схема влагомера для трикотажного полотна с емкостным датчиком C_x . Она представляет собой двухтактный высокочастотный генератор. Два колебательных LC -контур включены в цепях сетка — катод триодов $L1$ и $L2$. Емкость одного контура складывается из емкости датчика C_x и емкости измерительного переменного конденсатора $C1$. Емкость второго контура равна сумме емкостей $C2$ и подстроечного конденсатора $C3$.

Между анодами и сетками триодов включены конденсаторы связи $C4$ и $C5$. Сопротивления резисторов $R2$, $R3$, $R4$ и внутренние сопротивления триодов образуют мостовую схему, в измерительную диагональ которой включен микроамперметр μA с добавочными сопротивлениями $R5$ и $R6$.

Параметры схемы подобраны так, что при равенстве емкостей указанных контуров их резонансные частоты одинаковы и амплитуды переменного напряжения на сетках обеих ламп равны. Поэтому будут равны постоянные составляющие анодных токов обоих триодов, а следовательно, и их внутренние сопротивления. При этом мост уравновешен и ток в его измерительной диагонали отсутствует.

При изменении емкости C_x меняется резонансная частота первого контура, что приводит к отклонению амплитуды

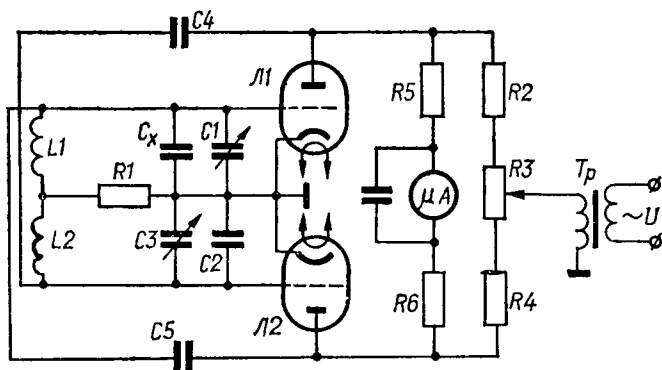


Рис. 102. Схема влагомера с емкостным датчиком.

переменного напряжения на сетке лампы Л1 и соответствующему изменению сопротивления этой лампы по постоянному току. В результате появляется ток в цепи микроамперметра. Для восстановления равновесия схемы необходимо изменить емкость переменного конденсатора $C1$ так, чтобы суммарная емкость контура $C1 + C_x$ стала равна первоначальной.

Таким образом, изменение емкости $C1$ является мерой приращения емкости датчика, а следовательно, и мерой влажности контролируемого материала.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НАТЯЖЕНИЯ НИТЕЙ

При вязании трикотажных изделий и полотна натяжение нитей является одним из основных технологических параметров, определяющих качество вырабатываемой продукции. Поэтому периодический контроль натяжения нитей в производственных условиях имеет важное значение. Однако

трикотажная промышленность еще не оснащена в достаточной степени специализированными приборами для измерения натяжения движущихся нитей на различных трикотажных машинах. В то же время имеется значительное число разработанных различными научно-исследовательскими организациями приборов, которые могут найти применение для производственного контроля натяжения в трикотажной промышленности.

Наиболее универсальным и удобным в применении является метод измерения натяжения нитей, при котором натяжение с помощью одного, двух или трех нитепроводников создает равнодействующую силу, воспринимаемую силоизмерителем того или иного типа. Силовизмеритель обычно содержит упругий элемент и связанное с ним преобразовательно-усилительное устройство, которое воздействует на индикатор натяжения.

К простейшим приборам для измерения натяжения нити относятся механические. Принцип действия такого прибора показан на рис. 103. Воспринимающий нитепроводник 1 установлен на рычаге 5, который находится под действием пружины 4 и несет зубчатый сектор, сцепленный с зубчатым колесом 3. На последнем установлена стрелка 2, указывающая натяжение нити 6 по градуированной шкале. Для гашения колебаний подвижной системы и обеспечения измерения среднего значения натяжения механические приборы снабжаются специальными демпфирующими устройствами.

Ограниченное применение механических приборов объясняется недостаточно высокой чувствительностью и точностью. В электрических приборах чаще всего используются тензометрические, индуктивные, емкостные и фотоэлектрические датчики натяжения (рис. 104). Равнодействующая натяжения нитей 4, огибающих воспринимающий нитепроводник 3, вызывает соответствующую деформацию изгиба консольно закрепленной плоской балочки 2.

В тензометрическом датчике (рис. 104, а) деформация упругой балочки преобразуется в электрический сигнал

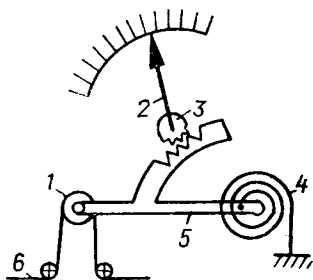


Рис. 103. Механический прибор для измерения натяжения нити.

с помощью наклеенных вдоль ее оси (сверху и снизу) проволочных тензорезисторов 1. При изгибе балочки ее верхняя поверхность испытывает деформацию растяжения, а нижняя — сжатия. Соответственно сопротивление верхних тензорезисторов увеличивается, а нижних — уменьшается. Тензорезисторы включаются в мостовую измерительную схему таким образом, чтобы в смежных плечах моста находились преобразователи, испытывающие деформации противо-

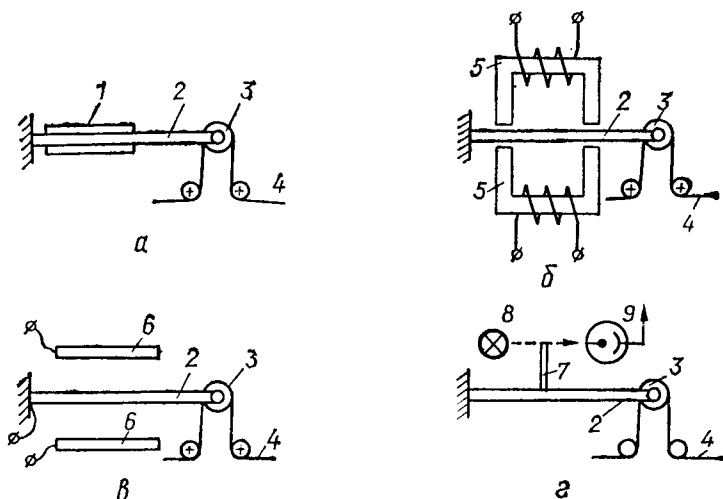


Рис. 104. Схемы датчиков натяжения:

а — тензометрического; *б* — индуктивного; *в* — емкостного; *г* — фотоэлектрического.

положительного знака. Сигнал на выходе моста пропорционален натяжению нити. Для обеспечения максимальной чувствительности датчика используют четыре преобразователя: два сверху и два снизу.

В дифференциальном индуктивном датчике (рис. 104, б) упругая балочка из ферромагнитного материала помещается между двумя сердечниками 5 с катушками таким образом, чтобы с изменением натяжения нити величина воздушного зазора между балочкой и каждым из сердечников получала приращение разного знака. Катушки индуктивного датчика включают в дифференциальную либо мостовую схему переменного тока с питанием от источника повышенной частоты.

В дифференциальном емкостном датчике (рис. 104, в)

упругая балочка расположена между двумя неподвижными металлическими пластинами б. В этом случае образуются две емкости, одна из которых при деформации балочки увеличивается, а вторая уменьшается. Указанные емкости включают в смежные плечи мостовой измерительной схемы. Питание моста осуществляют напряжением высокой частоты, порядка сотен килогерц.

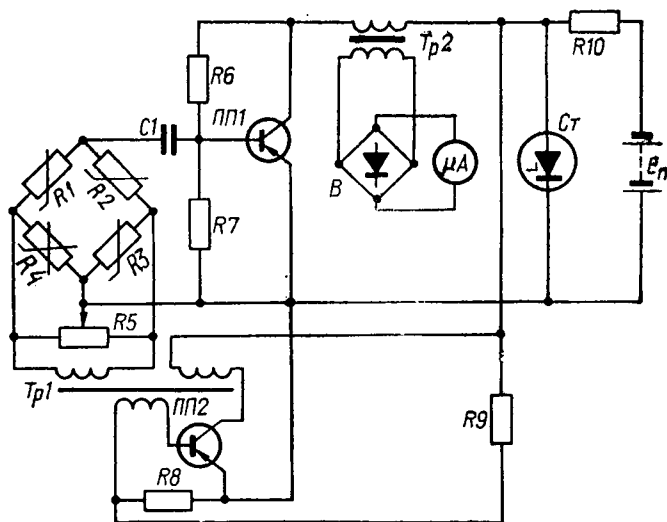


Рис. 105. Схема тензометрического прибора для измерения натяжения нити.

В фотоэлектрическом датчике (рис. 104, з) с упругой балочкой жестко связан флажок 7, перемещение которого вызывает изменение светового потока от осветителя 8 к фотоэлементу 9. Фототок в цепи фотоэлемента пропорционален перемещению флажка и, следовательно, натяжению нити.

Сигнал с выхода измерительной схемы, в которую включен датчик натяжения, после соответствующего усиления и преобразования подается на показывающее или регистрирующее устройство.

На рис. 105 показана принципиальная электрическая схема переносного тензометрического прибора для измерения натяжения нитей в диапазоне от 0,025 до 0,05 н, разработанного Узбекским научно-исследовательским институтом шелковой промышленности.

Измерительный мост с тензорезисторами $R1 — R4$ питается от генератора с трансформаторной связью, собранного на транзисторе $ПП2$. Напряжение разбаланса моста через конденсатор $C1$ подается на однокаскадный усилитель напряжения на транзисторе $ПП1$. Усиленный сигнал через выходной трансформатор $Tr2$ поступает на выпрямитель B и затем измеряется микроамперметром μA . Благодаря сравнительно большой инерционности стрелочного прибора измеритель не реагирует на мгновенные колебания натяжения нити, а показывает среднее значение этого натяжения. Прибор имеет батарейное питание. Для стабилизации напряжения питания используется стабилитрон $Ст$.

Если необходимо получить более полную информацию о характере изменения натяжения нити в процессе вязания, производят регистрацию кривой изменения натяжения во времени. Для регистрации медленно меняющегося натяжения может быть использован самопишущий микроамперметр или автоматический потенциометр. Регистрация быстропротекающего процесса изменения натяжения нити осуществляется с помощью магнитоэлектрического осциллографа.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ И СКОРОСТИ ПОДАЧИ НИТЕЙ

Одним из главных показателей качества трикотажного изделия является его плотность, определяемая числом петель на единицу длины по горизонтали и вертикали. В готовых изделиях плотность определяют непосредственным подсчетом числа петельных столбиков и рядов.

В производственных условиях плотность вырабатываемого изделия контролируется косвенным методом либо по скорости движения нити, либо по величине средней подачи на одну петлю.

Линейная скорость движения нити может быть определена по скорости вращения мерительного ролика, приеодимого в движение нитью. С этой целью чаще всего применяются механические, электромеханические или стробоскопические тахометры. При низкой скорости движения нити с помощью секундомера измеряют время одного, двух или пяти оборотов мерительного ролика, а затем рассчиты-

вают среднюю скорость нити по формуле

$$v = \frac{\pi dk}{t}, \quad (29)$$

где d — диаметр мерительного ролика;

k — число оборотов мерительного ролика за время измерения t .

Скорость вращения мерительного ролика может быть преобразована в импульсы электрического тока (например, с помощью электроконтактных либо фотоэлектрических датчиков). Среднее значение тока, пропорциональное скорости движения нити, измеряется стрелочным прибором или же импульсы подсчитываются электромеханическим счетчиком.

Оценка плотности трикотажного изделия по величине поступательной скорости движения нити справедлива лишь при постоянстве скорости вращения главного вала трикотажной машины. Поэтому более перспективным представляется метод оценки плотности изделия по величине средней подачи нити.

В Киевском технологическом институте легкой промышленности разработан цифровой прибор для измерения средней подачи нитей основы на быстроходной основовязальной машине с точностью $\pm 2\%$ и пределами измерения от 1 до 9,99 мм/ряд.

В приборе использован метод измерения длины нити, сходящей с навоя за время наработки определенного базового количества петельных рядов. Поскольку величина подачи основы на один цикл петлеобразования может изменяться при работе машины даже в течение коротких промежутков времени, то для объективной оценки необходимо измерять среднее значение подачи в течение такого промежутка времени, за который нарабатывается несколько десятков или сотен петельных рядов. Это позволяет обеспечить высокую точность измерения, и тем большую, чем больше число n петельных рядов, во время образования которых определяется длина L поданной нити.

Среднюю подачу нитей l устанавливают по формуле

$$l = \frac{L}{n}. \quad (30)$$

Чтобы получить высокую точность показаний, в рассматриваемом приборе использованы дискретные методы измерения обеих исходных величин L и n .

Блок-схема прибора представлена на рис. 106. Прибор состоит из фотоэлектрического импульсного датчика длины нити *ДДН*, фотоэлектрического импульсного датчика числа петельных рядов *ДКП* и счетно-пересчетного управляющего устройства (*СПУУ*) с цифровой индикацией на выходе.

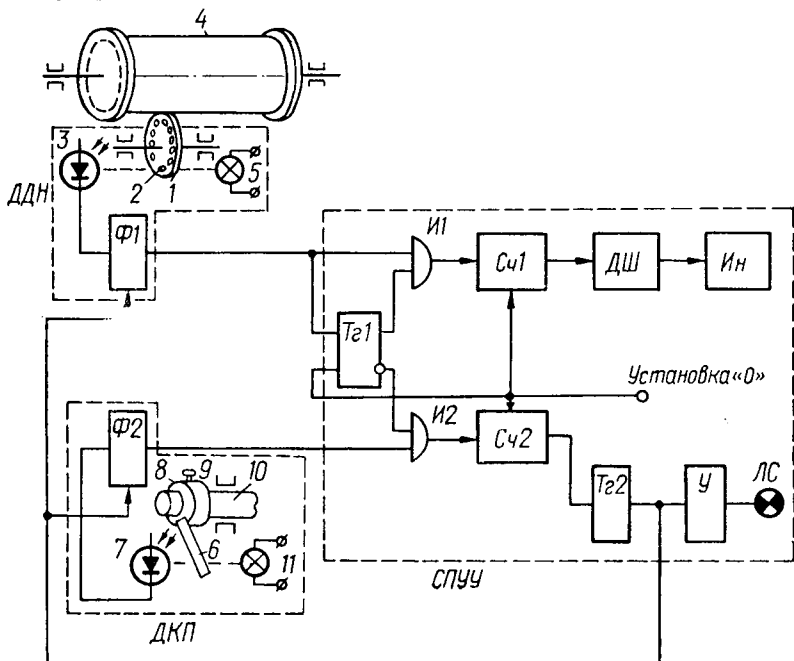


Рис. 106. Блок-схема цифрового прибора для измерения средней подачи основы.

Датчик *ДДН* состоит из свободно вращающегося на оси мерительного ролика — диска *1* с равномерно распределенными по его периферии отверстиями *2*, фотодиода *3* и электрической лампочки *5*, расположенных друг против друга по обе стороны дисков *1* таким образом, что их оптическая ось проходит через центр отверстия *2*. При выполнении измерений переносный датчик *ДДН* прижимается мерительным диском *1* к вращающемуся навою *4* машины.

Импульсы, возникающие в цепи фотодиода *3*, преобразуются формирователем *Ф1* в импульсы прямоугольной формы.

Датчик *ДКП* состоит из кольца *8* с флажком *6*, фотодиода *7* и электрической лампочки *11*. При помощи винта *9*

кольцо 8 закрепляется на конце вала 10 гребенок машины. Остальная часть датчика ДКП выполнена переносной и устанавливается на неподвижной части машины так, что при колебаниях вала гребенок возникает прерывистое освещение фотодиода 7. Импульсы тока в цепи этого фотодиода преобразуются формирователем Ф2 в прямоугольные.

Датчики ДДН и ДКП с помощью кабелей подключены к счетно-пересчетному управляющему устройству. Это устройство состоит из триггера синхронизации Тг1, логических элементов И1 и И2, двух электронных счетчиков Сч1 и Сч2 импульсов, дешифратора ДШ, десятичного индикатора Ин, схемы окончания отсчета и кнопки установки нулевого показания прибора.

При установке прибора на нуль нажатием соответствующей кнопки подается сигнал, сбрасывающий одновременно показания счетчиков Сч1, Сч2 и ставящий триггер синхронизации Тг1 в такое исходное положение, при котором импульсы от датчиков ДДН и ДКП не могут проходить через логические элементы И1 и И2 к соответствующим счетчикам.

После отпускания кнопок «Установка 0» первый же импульс с датчика ДДН опрокидывает триггер синхронизации Тг1, в результате чего отпираются каналы прохождения импульсов с формирователями Ф1 и Ф2 к соответствующим счетчикам Сч1 и Сч2. Этим достигается одновременность начала работы обоих счетчиков.

Счет продолжается до тех пор, пока не будет подсчитано базовое число n петельных рядов, соответствующее заданной емкости счетчика Сч2. При поступлении n -го импульса с датчика ДКП на выходе счетчика Сч2 появляется управляющий сигнал заполнения, подаваемый в схему окончания отсчета. С выхода триггера Тг2 этой схемы сигнал поступает на формирователи Ф1 и Ф2, запирая их и тем самым прекращая поступление импульсов на счетчики. Сигнал окончания отсчета через однокаскадный усилитель У поступает также на сигнальную лампочку ЛС. Таким образом обеспечивается одновременный подсчет некоторого числа N импульсов с датчика ДДН за время наработки заданного базового числа петельных рядов n .

Если единица дискретности датчика ДДН (цена одного импульса) составляет a мм, то измеренная длина нити L равна

$$L = aN \text{ мм.} \quad (31)$$

Если единица дискретности a датчика $ДДН$ выбрана равной 2 мм, то требуемая емкость счетчика $Сч2$ $n = 200$, т. е.

$$n = 100a. \quad (32)$$

Подставляя выражения (31) и (32) в равенство (30), получим

$$l = \frac{N}{100} \text{ мм/ряд}. \quad (33)$$

Таким образом, подсчитанное в течение времени измерения счетчиком $Сч1$ число N импульсов, представленное после дешифровки на десятичном цифровом индикаторе $ИИ$, деленное на 100, показывает величину измеренной средней подачи нитей основы в мм/ряд. После повторной установки на нуль прибор производит новый цикл измерения.

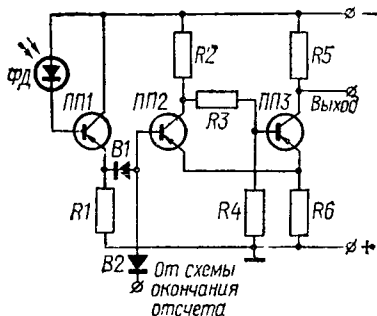


Рис. 107. Схема формирователя импульсов.

Импульсы фототока, возникающие в фотодиоде $ФД$, усиливаются однокаскадным усилителем на транзисторе $ПП1$ и поступают на триггер Шмидта, собранный на транзисторах $ПП2$ и $ПП3$. Сигнал, запирающий формирователь по истечении времени измерения, подается на базу транзистора $ПП2$ через диод $B2$.

В схеме (рис. 106) применены электронные счетчики импульсов, составленные из соединенных по каскадам в последовательную цепочку двоичных триггеров. Каждая декада десятичного счетчика содержит четыре триггера, охваченных двумя обратными связями для получения коэффициента пересчета, равного 10. Счетчик $Сч1$ емкостью, равной 999, содержит три десятичные декады и с помощью дешифратора на транзисторах соединен с тремя газонаполненными лампами цифровой индикации типа $ИИ$.

Счетчик $Сч2$ емкостью, равной 200, содержит восемь последовательно соединенных двоичных триггеров. Схемы подобных счетчиков и дешифраторов, получивших широкое распространение во многих отраслях техники, описаны в

соответствующей литературе и поэтому в настоящей книге не приводятся.

Аналогичный метод определения средней подачи основы — измерение длины нитей, сходящих с навоя за время наработки определенного базового числа петельных рядов — использован в приборе, разработанном Ленинградским институтом текстильной и легкой промышленности, а также в ряде приборов зарубежных фирм. Так, в Англии предложен прибор, содержащий прижимаемый к навою измерительный ролик, на торце которого установлен диск из чувствительной бумаги. После включения прибора через каждые 60 оборотов машины специальное регистрирующее устройство автоматически наносит метки на диске. Затем диск снимают и по углу между отметками определяют уработку нитей основы за 60 рядов вязания.

Фирмой Боаст и Вуллет (Англия) сконструирован прибор с двумя счетчиками: длины нити и числа петельных рядов. Для измерения длины нити служит импульсный фотоэлектрический датчик. При достижении заданного числа оборотов главного вала счетчик числа петельных рядов автоматически выключает машину, а счетчик длины нити показывает величину подачи на 2 или 4 петельных ряда. Прибор фирмы К. Майер (ФРГ) содержит импульсный датчик числа оборотов машины, который автоматически прерывает работу счетчика длины нити после 480 оборотов главного вала.

Приборы с подобным принципом действия применимы также для измерения подачи нити на любых трикотажных машинах.

ФОТОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО ФЭМООН ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОСТАНОВА БЫСТРОХОДНЫХ ОСНОВОВЯЗАЛЬНЫХ МАШИН ПРИ ОБРЫВЕ НИТИ

На основовязальных машинах одновременно перерабатывается несколько тысяч нитей. Поэтому применение электроконтактных датчиков для контроля обрыва нити вызывает значительные трудности, которые усугубляются также большой частотой смены навоев. Более перспективным представляется использование с этой целью фотоэлектрических датчиков.

Известные фотоэлектрические устройства для автоматического останова основовязальных машин можно разделить

на две группы: 1) контролирующие полотно; 2) контролирующие нити основы.

Устройства первой группы, серийно выпускаемые в США и ФРГ, содержат фотодатчик, который установлен на каретке, совершающей возвратно-поступательное движение над полотном вдоль игольницы машины. При наличии дефекта в полотне, вызванного обрывом нити или поломкой иглы, на фотозлемент попадает световой луч, отраженный от расположенного под полотном зеркального бруса. Это вызывает срабатывание выходного реле устройства, которое управ-

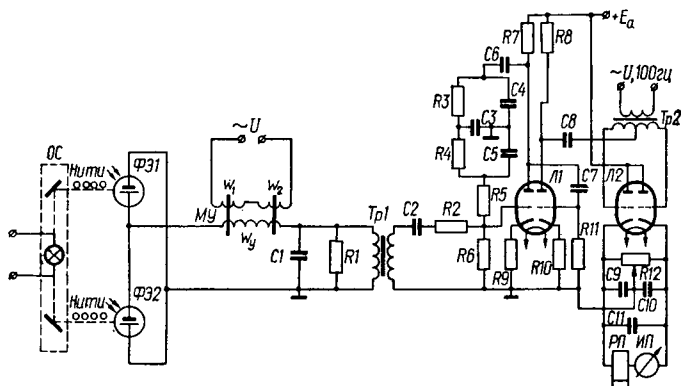


Рис. 108. Принципиальная схема устройства типа ФЭМООН для автоматического останова основовязальной машины.

ляет цепями автоматической сигнализации и технологической защиты. Указанные устройства осуществляют останов основовязальной машины при наработке полотна с дефектом длиной в 5—15 см. Кроме того, они применимы лишь для машин, вырабатывающих гладкое одноцветное основовязаное полотно.

Устройства второй группы служат для автоматического останова машины только при обрыве одной из нитей основы при выработке полотен любых переплетений. При этом длина дефекта на полотне вследствие обрыва нити составляет несколько миллиметров.

Принципиальная схема разработанного в Киевском технологическом институте легкой промышленности фотоэлектронного устройства ФЭМООН приведена на рис. 108.

Здесь осветитель *ОС*, расположенный на боковой станине машины, создает два параллельных луча, которые, проходя под нитями основы, попадают на фотозлементы *ФЭ1* и *ФЭ2*,

установленные на другой боковой станине машины. В устройстве используются полупроводниковые фотоэлементы, включенные по дифференциальной схеме.

При обрыве нить, провисая, пересекает один из лучей и нарушает баланс дифференциальной схемы. Фототок небаланса усиливается магнитным усилителем *МУ*, работающим по принципу удвоения частоты. Обмотки возбуждения этого усилителя ω_1 и ω_2 питаются от источника с частотой 50 *гц*. Поэтому на выходе усилителя в первичной обмотке трансформатора *Тр1*, которая вместе с конденсатором *С1* образует резонансный контур на удвоенной частоте, возникает сигнал с частотой 100 *гц*.

Через трансформатор *Тр1*, выполняющий одновременно функцию согласующего устройства, сигнал поступает на электронный усилитель. Первый каскад электронного усилителя, собранный на левой половине двойного триода лампы *Л1*, является избирательным. Коэффициент усиления этого усилителя для сигналов удвоенной частоты $2f$ намного превышает коэффициенты усиления для частот f , $3f$ и т. д. за счет применения двойного Т-образного *RC*-фильтра в цепи отрицательной обратной связи. Параметры фильтра *R3*, *R4*, *C3*, *C4* и *C5* подобраны таким образом, что его сопротивление для напряжения с частотой 100 *гц* бесконечно велико, и отрицательная обратная связь в усилителе на этой частоте практически отсутствует. Для сигналов других частот отрицательная обратная связь в усилителе имеет место и его коэффициент усиления резко падает.

Следующий резистивно-емкостный каскад электронного усилителя собран на правом триоде лампы *Л1*. С выхода этого каскада сигнал поступает на фазочувствительный катодный повторитель на двойном триоде лампы *Л2*. На сетки лампы подается опорное напряжение частотой 100 *гц* от симметричного трансформатора *Тр2*. Амплитуды напряжения на обеих сетках при отсутствии входного сигнала одинаковы, и схема уравновешена. При поступлении входного сигнала, который подается на обе сетки с одинаковой фазой, возникает разбаланс схемы, и в катодной нагрузке через обмотку трехпозиционного поляризованного реле *РП* и измерительный прибор *ИП* потечет ток. Направление этого тока зависит от фазы поступающего на выходной каскад усилителя сигнала, которая, в свою очередь, зависит от направления фототока в управляющей обмотке магнитного усилителя. Таким образом, направление срабатывания

поляризованного реле зависит от того, в какой из основ произошел обрыв нити. Это позволяет осуществить сигнализацию обрыва нити отдельно для каждой из основ.

При замыкании любого из контактов поляризованного реле срабатывает соответствующее реле — повторитель, включающее определенную сигнальную лампу и размыкающее цепь питания катушки магнитного пускателя главного электродвигателя основовязальной машины.

Глава 4

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРИКОТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Система управления является автоматической, если для достижения цели управления основные функции управления, необходимые в процессе работы системы, осуществляются в ней без непосредственного участия человека.

Частным, но очень важным случаем автоматического управления является автоматическое регулирование, при котором желаемый ход технологического процесса достигается путем поддержания заданного значения отдельных параметров процесса.

Параметр технологического процесса, который должен поддерживаться на заданном уровне при регулировании, называется регулируемой величиной, а сам объект (процесс), параметры которого регулируются, — объектом регулирования. В реальных объектах регулирования может быть несколько регулируемых величин, которые в той или иной степени характеризуют качественные показатели процесса (например, температура, концентрация и уровень красильного раствора в барке), но для упрощения будем рассматривать процессы с одной регулируемой величиной.

Устройство, предназначенное для автоматического поддержания постоянного значения регулируемой величины

объекта или ее изменения по какому-либо требуемому закону, называется автоматическим регулятором.

Автоматический регулятор в сочетании с объектом регулирования образует систему автоматического регулирования (САР).

Системы автоматического регулирования, выполняющие задачу поддержания постоянства регулируемой величины, называются также системами автоматической стабилизации. Задачу изменения регулируемой величины объекта во времени по определенному заранее заданному закону выполняют системы автоматического программного регулирования. Наконец, для воспроизведения (копирования) изменения некоторой величины с произвольным законом изменения во времени служат следящие системы автоматического регулирования.

Очевидно, указанные три системы должны иметь отдельные функционально отличающиеся блоки, однако во всех случаях задача автоматического регулятора сводится к приведению регулируемой величины в данный момент времени к требуемому значению. Поэтому с точки зрения методов исследования все эти системы принципиально не отличаются друг от друга, что позволяет в дальнейшем, говоря о системах автоматического регулирования, подразумевать любую из названных систем.

Значение регулируемой величины, которое необходимо поддерживать в процессе работы объекта на требуемом уровне, называется заданным значением регулируемой величины, а разность между текущим (фактическим) и заданным значениями — отклонением регулируемой величины, или рассогласованием.

При наличии отклонения регулируемой величины от ее заданного значения регулятор оказывает соответствующее воздействие, стремящееся уменьшить или полностью ликвидировать это отклонение. Такое воздействие со стороны регулятора называется управляющим или регулирующим.

Отклонение регулируемой величины может возникать как в результате изменения ее заданного значения, так и в результате действия на систему регулирования внешних факторов, называемых возмущающими воздействиями (возмущениями). К таким воздействиям относятся все факторы, которые вызывают нежелательное отклонение регулируемой величины от заданного значения. Среди возмущающих воздействий выделяют главные и второстепенные. Главное

возмущающее воздействие обычно определяется изменением нагрузки объекта (например, изменение расхода жидкости при регулировании уровня). К второстепенным возмущающим воздействиям относятся различного рода помехи, действующие как на объект регулирования, так и на отдельные элементы регулятора (например, изменение напряжения питания блоков электрического регулятора). Какова бы ни была природа возмущающих воздействий, их

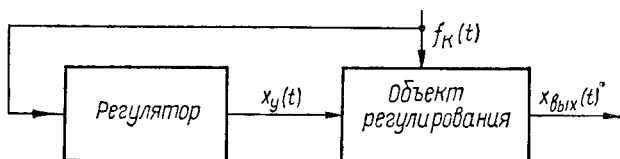


Рис. 109. Блок-схема системы автоматического регулирования по возмущению.

вредное действие на процесс должно быть скомпенсировано управляющим воздействием регулятора.

Несмотря на существенное разнообразие технических процессов, построение систем автоматического регулирования основывается на трех общих принципах: регулирование по возмущению, регулирование по отклонению и комбинированное регулирование. Выбор принципа регулирования зависит от назначения САР, характера изменения задающего и возмущающих воздействий, возможностей получения требуемой информации, характеристик объекта регулирования и т. п.

Принцип регулирования по возмущению состоит в том, что управляющее воздействие $x_y(t)$ на объект вырабатывается в системе в зависимости от величины возмущающего воздействия $f_k(t)$. Управляющее воздействие регулятора должно быть таким, чтобы полностью или в значительной степени компенсировать влияние возмущающего воздействия на объект с регулируемой величиной $x_{\text{вых}}(t)$. Блок-схема такой САР показана на рис. 109. Подобные САР имеют разомкнутый контур передачи воздействий, поэтому их называют разомкнутыми.

Основным преимуществом принципа регулирования по возмущению является высокое быстродействие, так как система реагирует на причину, которая может вызвать отклонение регулируемой величины. Однако этот принцип имеет и недостатки. При регулировании по возмущению мож-

но учесть действие лишь одного или нескольких главных возмущений. Если существенно влияние большого числа возмущающих воздействий, то требуется осуществить ряд устройств для нейтрализации их влияния, что недопустимо усложняет систему. Кроме того, точная компенсация возмущения требует точной реализации функциональной зависимости между воздействием регулятора и возмущающим воздействием. Эта зависимость часто сложна и поэтому реализуется приближенно.

Принцип регулирования по отклонению заключается в том, что независимо от числа и характера возмущающих

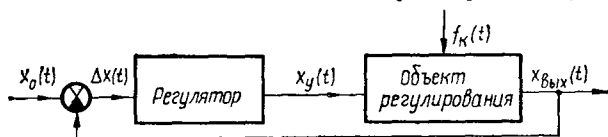


Рис. 110. Блок-схема системы автоматического регулирования по отклонению.

воздействий управляющее воздействие вырабатывается регулятором лишь при отклонении регулируемой величины от заданного значения.

Для реализации этого принципа необходимо осуществить сравнение фактического значения регулируемой величины $x_{\text{вых}}(t)$ с ее заданным значением $x_0(t)$ и управлять объектом в зависимости от результатов этого сравнения при появлении ошибки регулирования

$$\Delta x(t) = x_0(t) - x_{\text{вых}}(t).$$

Блок-схема САР по отклонению показана на рис. 110.

Отличительной особенностью принципа автоматического регулирования по отклонению является наличие в системе замкнутого контура передачи воздействий, поэтому такие САР часто называются замкнутыми, или системами с обратной связью.

Поскольку в замкнутой цепи передачи воздействий выходной сигнал $x_{\text{вых}}(t)$ вычитается из заданного $x_0(t)$, т. е. действует ему навстречу, то основная обратная связь является отрицательной.

Принцип регулирования по отклонению является универсальным и эффективным, так как он позволяет поддерживать заданное значение регулируемой величины с допустимо малым отклонением $\Delta x(t)$ независимо от того, какими причинами вызвано это отклонение. Однако САР по откло-

нению имеют неизбежную ошибку регулирования в переходных режимах работы.

Современные системы автоматического регулирования высокой точности строят на основе комбинированного прин-

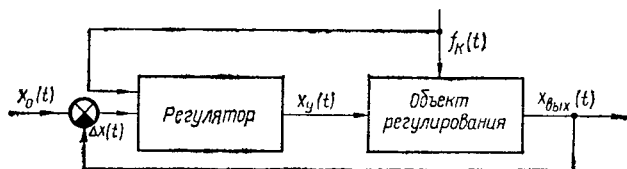


Рис. 111. Блок-схема комбинированной системы автоматического регулирования.

ципа регулирования и по возмущению, и по отклонению (рис. 111).

Такие САР объединяют преимущества обоих упомянутых принципов регулирования. Влияние наиболее существенного возмущающего воздействия компенсируется регулятором по разомкнутому контуру передачи воздействий, а за счет наличия замкнутого контура передачи воздействий

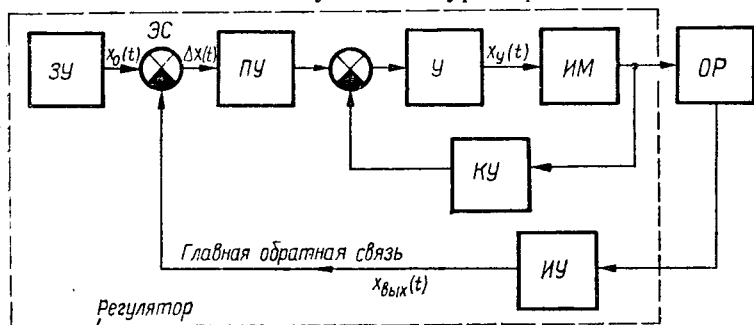


Рис. 112. Функциональная схема системы автоматического регулирования.

устраняется вредное влияние на систему различных факторов — как главных, так и второстепенных.

Наибольшее распространение получили системы, в которых реализован принцип регулирования по отклонению. Рассмотрим функциональную схему такой системы (рис. 112). В нее входит объект регулирования *ОР* и автоматический регулятор. Для реализации принципа регулирования по отклонению регулятор содержит следующие элементы, рассматриваемые с точки зрения их функционального назначения: измерительное устройство *ИУ*, задающее

устройство ZU , элемент сравнения $ЭС$, преобразующее устройство $ПУ$, усилитель $У$, исполнительный механизм $ИМ$ и параллельное корректирующее устройство $KУ$.

Измерительное устройство $ИУ$ воспринимает изменения регулируемой величины объекта и вырабатывает сигнал, пропорциональный текущему значению этой величины $x_{\text{вых}}(t)$. Заданное значение регулируемой величины вырабатывается задающим устройством $ZУ$ в виде управляющего сигнала $x_0(t)$, удобного для сравнения с регулируемой величиной $x_{\text{вых}}(t)$. На основании сравнения управляющего сигнала и сигнала главной обратной связи элемент сравнения $ЭС$ дает первичный сигнал управления или сигнал ошибки $\Delta x(t)$.

При необходимости сигнал ошибки преобразуется в изменения физической величины, удобные для последующего усиления или преобразования, с помощью преобразующего устройства $ПУ$. Это устройство для улучшения динамических свойств системы может включать в себя также последовательное корректирующее устройство.

Преобразованный сигнал ошибки усиливается усилителем до величины $x_y(t)$, достаточной для управления исполнительным механизмом $ИМ$. Усиление сигнала ошибки происходит за счет энергии внешнего источника питания. В некоторых простых системах, где сигнал имеет достаточную мощность, усилитель может отсутствовать. Такие системы называют системами прямого регулирования.

Исполнительный механизм $ИМ$ вырабатывает управляющее воздействие, которое посредством регулирующего органа прикладывается к объекту с целью устранения ошибки регулирования. Для улучшения процесса регулирования в системе может применяться также параллельное корректирующее устройство $KУ$, которое выполняется в виде местной обратной связи, схватывающей отдельные элементы регулятора (например, исполнительный механизм и усилитель, как это показано на рис. 112).

При анализе систем автоматического регулирования воспринимающую часть (датчик) измерительного устройства часто относят к объекту регулирования. Это вызвано тем, что датчик, хотя и непосредственного отношения к технологическому процессу не имеет, может влиять на его свойства как объекта регулирования.

По характеру работы в установившемся режиме системы автоматического регулирования подразделяют на статиче-

ские и астатические. Системы, в которых при установившемся состоянии существует однозначная зависимость между регулируемой величиной и возмущающим воздействием, называются статическими по отношению к рассматриваемому воздействию. Равновесие системы при статическом регулировании для разных значений возмущающего воздействия имеет место при различных значениях регулируемой величины, лежащих в заранее заданных пределах. Поэтому при статическом регулировании всегда имеется остаточное отклонение регулируемой величины от заданного значения, называемое статической ошибкой регулирования.

Если же при всяком постоянном значении входного воздействия в системе при установившемся режиме ошибка регулирования равна нулю, то такую систему по отношению к данному воздействию называют астатической. Равновесие системы при астатическом регулировании имеет место всегда при заданном значении регулируемой величины.

В зависимости от характера связи между отдельными элементами системы разделяют на непрерывные и дискретные (импульсные). В непрерывных системах между всеми элементами осуществляется постоянная функциональная связь. Выходные величины всех элементов такой системы изменяются плавно при плавном изменении их входных величин. В дискретных системах осуществляется не постоянная, а прерывистая связь между элементами. Дискретная система содержит хотя бы один элемент дискретного действия. Выходная величина такого элемента изменяется дискретно, т. е. скачками или импульсами, даже при плавном изменении входной величины.

Общим для систем автоматического регулирования различных величин (в том числе и в трикотажном производстве) является динамика физических процессов, протекающих в них. Это позволяет оценивать элементы и системы не по техническим, а по динамическим признакам.

Элементы и системы регулирования обычно описываются дифференциальными уравнениями, называемыми уравнениями динамики. Безынерционные элементы, а также поведение системы регулирования в установившемся режиме при постоянных воздействиях описываются алгебраическими уравнениями, называемыми уравнениями статики.

В общем случае дифференциальные уравнения, описывающие поведение элемента или системы, нелинейны. Поэтому большинство систем, строго говоря, являются нели-

нейными. Нелинейности возникают по различным причинам: из-за наличия насыщения или зон нечувствительности в статических характеристиках отдельных элементов, при использовании в регуляторе элементов релейного действия и т. п. Однако во многих случаях, особенно в системах с обратными связями при малых отклонениях, нелинейные уравнения можно приближенно заменить линейными уравнениями для приращений переменных. Системы, которые можно с достаточной точностью описать линейными уравнениями, называются линейными.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Система автоматического регулирования состоит из двух основных частей: объекта регулирования и автоматического регулятора. Свойства объекта регулирования и требования к качеству регулирования определяют необходимые характеристики автоматического регулятора. Поэтому для построения системы автоматического регулирования необходимо иметь математическое описание объекта. Уравнение объекта регулирования составляется на основании того физического закона, которому подчиняется процесс, происходящий в данном объекте. Многие различные по своей физической природе простые процессы, которые связаны с притоком, расходом, преобразованием некоторой материальной среды или энергии, описываются одностепенным дифференциальным уравнением вида

$$C \frac{dX}{dt} = Y, \quad (34)$$

где X , Y и C — обобщенные величины процесса.

Регулируемая величина объекта X характеризует внутренний режим процесса, т. е. является его качественным показателем. Входная величина Y характеризует внешнее энергетическое или материальное воздействие на объект. Величина C , называемая коэффициентом емкости объекта, характеризует его собственные свойства и определяет инерционность процесса.

В табл. 1 для сравнения приведены уравнения, описывающие некоторые простые процессы, и даны значения обобщенных величин. При заполнении сосуда жидкостью качественным показателем процесса (регулируемой величиной)

Значения обобщенных величин для простых процессов

Процесс	Уравнение	Обобщенные величины		
		x	y	c
Заполнение (опорожнение) сосуда жидкостью	$S \frac{dh}{dt} = Q$	Уровень h	Объемный приход (расход) Q	Площадь поперечного сечения сосуда S
Нагревание (охлаждение) тела	$Gc \frac{d\theta}{dt} = Q$	Температура θ	Тепловой поток Q	Теплоемкость Gc , где G — вес тела; c — его удельная теплоемкость
Сушка (увлажнение) тела	$G \frac{dw}{dt} = W$	Относительная влажность w	Вес удаляемой (поступающей) влаги в единицу времени W	Вес абсолютно сухого тела G
Растворение вещества	$V \frac{d\eta}{dt} = G$	Концентрация растворенного вещества η	Количество поступающего в единицу времени вещества G	Объем растворителя V
Поступательное движение	$m \frac{dv}{dt} = P$	Линейная скорость v	Сила P	Масса m
Вращательное движение	$I \frac{d\omega}{dt} = M$	Угловая скорость ω	Момент M	Момент инерции I

является уровень, входной величиной — объемный приход или расход жидкости, а коэффициентом емкости — площадь поперечного сечения сосуда. При нагревании тела качественным показателем служит температура тела, входной величиной — результирующий приток тепла, а коэффициентом емкости — теплоемкость тела и т. д.

Объекты регулирования способны аккумулировать энергию или вещество, т. е. обладают емкостью. Для гидравлического объекта емкость определяется объемом жидкости в сосуде и равна произведению уровня h на площадь поперечного сечения сосуда S ; для теплового объекта емкость равна теплосодержанию $Gc\theta$; для поступательного движения тела — количеству движения mv ; для вращательного движения — моменту количества движения $I\omega$. Таким образом, емкость объекта U равна произведению коэффициента емкости C на заданное значение регулируемой величины X :

$$U = CX.$$

Чем больше коэффициент емкости, тем меньше скорость изменения регулируемой величины при внешнем воздействии на объект.

Емкость может быть распределенной по всему объему или сосредоточенной в одном или нескольких участках объекта. Если сопротивление переходу вещества или энергии из одного участка в другой пренебрежимо мало, то объект является одноемкостным. При существенных сопротивлениях переходу вещества или энергии между отдельными участками объект становится многоемкостным. Например, два сосуда с жидкостью, соединенные тонкой трубкой, образуют двухъемкостный гидравлический объект.

Рассмотрим поведение одноемкостного объекта регулирования, который характеризуется обобщенным уравнением (34). Внешнее воздействие Y определяется разностью между притоком Q_n к объекту и расходом Q_p из него вещества или энергии

$$Y = Q_n - Q_p. \quad (35)$$

В установившемся режиме при $Q_{n_0} = Q_{p_0} = Q_0$ результирующее внешнее воздействие на объект отсутствует и имеет место постоянство регулируемой величины $X = X_0$.

В общем случае возможно изменение внешнего воздействия как на стороне притока, так и на стороне расхода:

$$Q_n = Q_{n_0} + \Delta Q_n;$$

$$Q_p = Q_{p_0} + \Delta Q_p.$$

Разность между притоком и расходом вызывает изменение величины X . Причем, $Q_{\text{п}}$ и $Q_{\text{р}}$ могут зависеть от значения качественного показателя процесса X . Например, при нагревании тела поступающий и расходуемый тепловые потоки зависят от величины температуры тела. Поэтому проведем линеаризацию по методу малого параметра, разложив функции $Q_{\text{п}}(X)$ и $Q_{\text{р}}(X)$ в ряд Тейлора. Опуская при этом члены высшего порядка малости, начиная со второго, получим приближенные соотношения

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{п}} &= Q_{\text{п}_0} + \left(\frac{dQ_{\text{п}}}{dX} \right)_0 \Delta X + \Delta Q_{\text{п}} + \left(\frac{d\Delta Q_{\text{п}}}{dX} \right)_0 \Delta X; \\ Q_{\text{р}} &= Q_{\text{р}_0} + \left(\frac{dQ_{\text{р}}}{dX} \right)_0 \Delta X + \Delta Q_{\text{р}} + \left(\frac{d\Delta Q_{\text{р}}}{dX} \right)_0 \Delta X. \end{aligned} \right\} \quad (36)$$

В уравнениях (36) $\Delta Q_{\text{п}}$ и $\Delta Q_{\text{р}}$ не зависят от X , так как они вызваны внешними воздействиями на объект. Поэтому

$$\left. \begin{aligned} Q_{\text{п}} &= Q_{\text{п}_0} + \left(\frac{dQ_{\text{п}}}{dX} \right)_0 \Delta X + \Delta Q_{\text{п}}; \\ Q_{\text{р}} &= Q_{\text{р}_0} + \left(\frac{dQ_{\text{р}}}{dX} \right)_0 \Delta X + \Delta Q_{\text{р}}. \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

Подставляя выражения (37) в уравнения (34) и (35), а также учитывая, что $Q_{\text{р}_0} = Q_{\text{п}_0}$, получим

$$C \frac{dX}{dt} + \left[\left(\frac{dQ_{\text{р}}}{dX} \right)_0 - \left(\frac{dQ_{\text{п}}}{dX} \right)_0 \right] \Delta X = \Delta Q_{\text{п}} - \Delta Q_{\text{р}}. \quad (38)$$

Таким образом, одноемкостный объект регулирования приближенно описывается линейным дифференциальным уравнением первого порядка.

Введем безразмерные величины, обозначив

$$x_{\text{вых}} = \frac{\Delta X}{X_0}, \quad x_{\text{вх}_1} = \frac{\Delta Q_{\text{п}}}{Q_0} \quad \text{и} \quad x_{\text{вх}_2} = \frac{\Delta Q_{\text{р}}}{Q_0}.$$

Тогда

$$\frac{CX_0}{Q_0} \cdot \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + \frac{X_0}{Q_0} \left[\left(\frac{dQ_{\text{р}}}{dX} \right)_0 - \left(\frac{dQ_{\text{п}}}{dX} \right)_0 \right] x_{\text{вых}} = x_{\text{вх}_1} - x_{\text{вх}_2}. \quad (39)$$

Отметим, что коэффициент при $\frac{dx_{\text{вых}}}{dt}$ имеет размерность времени и называется временем разгона $T_{\text{раз}}$ объекта

$$T_{\text{раз}} = \frac{CX_0}{Q_0}. \quad (40)$$

Как следует из формулы (40), $T_{\text{раз}}$ — это время, в течение которого регулируемая величина изменится от нуля до значения X_0 при постоянной разности между приходом и расходом вещества (или энергии), равной Q_0 .

Иногда пользуются величиной, обратной времени разгона $T_{\text{раз}}$, — скоростью разгона ε , равной $\frac{1}{T_{\text{раз}}}$, сек^{-1} .

Коэффициент при $x_{\text{вых}}$ в уравнении (39) является безразмерным и называется коэффициентом самовыравнивания δ объекта

$$\delta = \frac{X_0}{Q_0} \left[\left(\frac{dQ_p}{dX} \right)_0 - \left(\frac{dQ_{\Pi}}{dX} \right)_0 \right]. \quad (41)$$

Самовыравнивание — это такое свойство объекта, вследствие которого возникшая разность между притоком и расходом вещества (или энергии) на входе объекта стремится к нулю при отсутствии регулятора, а регулируемая величина принимает новое установившееся значение. Объект обладает свойством самовыравнивания ($\delta > 0$), когда Q_{Π} и (или) Q_p в отсутствие регулятора зависят от значения регулируемой величины. Если такой зависимости нет, то, как следует из формулы (41), $\delta = 0$, т. е. самовыравнивание отсутствует.

Коэффициент самовыравнивания можно представить в виде суммы двух слагаемых

$$\delta = \delta_p + \delta_{\Pi},$$

где $\delta_p = \frac{X_0}{Q_0} \left(\frac{dQ_p}{dX} \right)_0$ — коэффициент самовыравнивания на стороне расхода;

$\delta_{\Pi} = -\frac{X_0}{Q_0} \left(\frac{dQ_{\Pi}}{dX} \right)_0$ — коэффициент самовыравнивания на стороне подачи.

Если с увеличением регулируемой величины возрастает расход вещества или энергии (например, с повышением температуры тела теплоотдача в окружающую среду увеличивается), то объект имеет положительное самовыравнивание на стороне расхода. Если с увеличением регулируемой величины подача к объекту вещества или энергии уменьшается (например, тепловой поток к нагреваемому телу уменьшается с ростом температуры этого тела), то объект имеет положительное самовыравнивание также и на стороне подачи.

Многие объекты обладают положительным самовыравниванием. В некоторых объектах самовыравнивание отсут-

ствует как на стороне расхода, так и стороне подачи (например, гидравлический объект, в котором подача и расход жидкости осуществляются с помощью насосов независимо от значения уровня). В редких случаях объекты имеют отрицательное самовыравнивание (например, цепные реакции).

С учетом формул (40) и (41) уравнение объекта (39) принимает вид

$$T_{\text{раз}} \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + \delta x_{\text{вых}} = x_{\text{вх}_1} - x_{\text{вх}_2}. \quad (42)$$

Чаще используют иную форму записи такого уравнения (при $\delta \neq 0$):

$$T \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} + x_{\text{вых}} = k_{\text{об}} (x_{\text{вх}_1} - x_{\text{вх}_2}), \quad (43)$$

где $T = \frac{T_{\text{раз}}}{\delta}$ — постоянная времени объекта;

$k_{\text{об}} = \frac{1}{\delta}$ — коэффициент передачи объекта.

Переходная функция объекта, т. е. его реакция на результирующее единичное ступенчатое входное воздействие $x_{\text{вх}_1} - x_{\text{вх}_2} = 1$, находится из решения уравнения (43):

$$x_{\text{вых}}(t) = \frac{1}{\delta} (1 - e^{-\frac{\delta}{T_{\text{раз}}} t}) \quad (44)$$

или

$$x_{\text{вых}}(t) = k_{\text{об}} (1 - e^{-\frac{t}{T}}). \quad (45)$$

При отсутствии самовыравнивания ($\delta = 0$)

$$x_{\text{вых}}(t) = \frac{1}{T_{\text{раз}}} t = \varepsilon t. \quad (46)$$

Вид переходной характеристики объекта (графического изображения переходной функции) зависит от знака коэффициента самовыравнивания (рис. 113). При $\delta > 0$ регулируемая величина стремится к новому установившемуся значению, несмотря на продолжающееся и постоянное по величине входное воздействие. Причем, отклонение регулируемой величины в установившемся режиме по сравнению с предыдущим ее значением будет тем меньшим, чем больше коэффициент самовыравнивания δ . Это означает, что в отдельных случаях при сильно выраженном свойстве самовыравнивания объект может не нуждаться в регуляторе.

Объекты регулирования с положительным самовыравниванием называются статическими или устойчивыми.

При $\delta = 0$ (самовыравнивание отсутствует) регулируемая величина неограниченно возрастает с постоянной скоростью; такие объекты называются астатическими, или нейтральными.

И, наконец, при $\delta < 0$ (отрицательное самовыравнивание) регулируемая величина также неограниченно возрастает, но с уменьшающейся скоростью, — такие объекты называются неустойчивыми.

При нулевом и отрицательном самовыравнивании любое некомпенсированное возмущающее воздействие на объект приводит к неограниченному изменению регулируемой величины. Поэтому такие объекты требуют обязательной установки регуляторов.

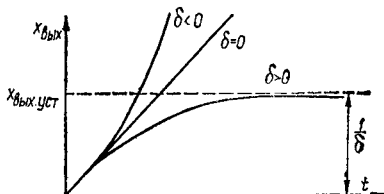


Рис. 113. Переходные характеристики объекта регулирования.

Поведение многоемкостного объекта регулирования описывается дифференциальным уравнением, порядок которого равен числу емкостей объекта, так как для каждой емкости можно составить свое уравнение первого порядка, а затем из имеющейся системы уравнений исключить промежуточные переменные и получить уравнение с порядком, равным числу исходных уравнений. Например, двухемкостный объект описывается дифференциальным уравнением второго порядка и т. д.

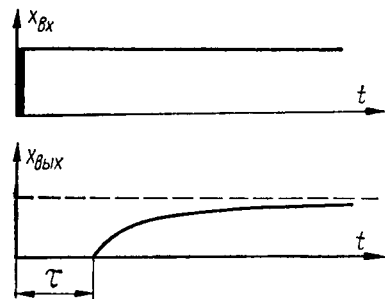


Рис. 114. Переходная характеристика одноемкостного объекта с запаздыванием.

В некоторых объектах регулирования изменение регулируемой величины начинается не одновременно с появлением входного воздействия, а спустя некоторое время τ характеризует запаздывание процесса в объекте и называется чистым или транспортным запаздыванием (рис. 114).

Примером объекта с запаздыванием может служить сосуд, в который жидкость подается по длинному трубопроводу.

В простых случаях для получения уравнения одноемкостного объекта регулирования следует на основании конструктивных данных определить коэффициент емкости объекта C , зависимости $Q_n(X)$, $Q_p(X)$, а затем рассчитать время разгона $T_{раз}$, коэффициент самовыравнивания δ по формулам (40) и (41) и подставить их значения в общую формулу (42). Иногда математическое описание процесса затруднено из-за отсутствия требуемых исходных данных. В таких случаях используют экспериментально полученные

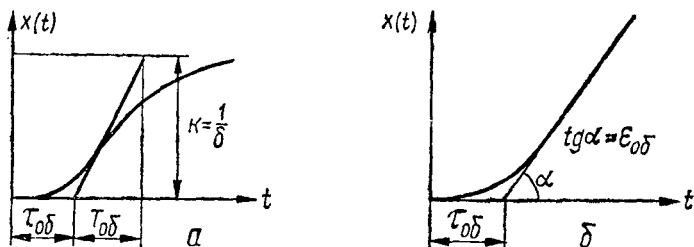


Рис. 115. Определение параметров объектов по переходным характеристикам:

a — для объекта с самовыравниванием; b — для объекта без самовыравнивания.

переходные характеристики объекта, на основании которых можно определить постоянную времени объекта, время запаздывания, коэффициент самовыравнивания.

Для приближенной оценки свойств сложных объектов они аппроксимируются более простыми так, чтобы переходные характеристики заменяющих объектов относительно мало отличались от действительных переходных характеристик. Первым приближением является замена переходной характеристики сложного объекта переходной характеристикой одноемкостного объекта с чистым запаздыванием $\tau_{0\delta}$, как показано на рис. 115. При определении эквивалентной постоянной времени объекта $T_{0\delta}$ проводят касательную к точке перегиба переходной характеристики.

СВОЙСТВА ОБЪЕКТОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В трикотажном производстве встречается большое разнообразие объектов регулирования. Среди них: объекты регулирования температуры в красильно-отделочных аппаратах, сушильных установках, прессах влажно-тепловой об-

работки изделий; объекты регулирования уровня в красильных барках; объекты регулирования влажности трикотажного полотна; приводные двигатели трикотажных машин как объекты регулирования угловой скорости и т. п.

Особое место занимают устройства нитеподачи трикотажных машин (или транспортировки ткани) как объекты автоматического регулирования натяжения. Различают два способа нитеподачи к петлеобразующим органам трикотажных машин: пассивную и активную. При пассивной подаче нить сматывается с бобины или навоя под действием натяжения по мере потребления ее петлеобразующими органами. При активной — сматывание нити осуществляется специальным нитеподающим механизмом. Для создания определенного натяжения нити, поступающей в вяжущую систему, на многих трикотажных машинах устанавливают специальные нитенатяжные устройства.

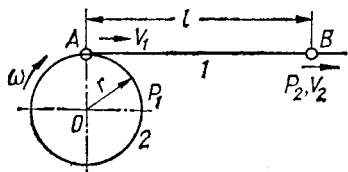


Рис. 116. Технологическая схема активной нитеподачи без нитенатяжного устройства.

Вначале рассмотрим объект регулирования без нитенатяжного устройства при активной и пассивной нитеподаче, а затем — влияние нитенатяжного устройства на динамику натяжения нитей. Последовательное усложнение задачи дает возможность рассмотреть методику анализа динамических свойств различных объектов регулирования, используемых практически на всех видах трикотажных машин.

Активная нитеподача при отсутствии нитенатяжного устройства. В этом случае в соответствии с технологической схемой объекта, приведенной на рис. 116, нить 1, имея в бобине (или навое) 2 натяжение P_1 , сходит в точке A с поступательной скоростью v_1 с принудительно вращаемой бобины и поступает в точке B в зону петлеобразования, где скорость ее потребления равна v_2 . Бобина вращается с угловой скоростью ω .

Задача исследования объекта состоит в определении зависимости между регулируемой величиной — натяжением нити в зоне AB и входными воздействиями. К входным возмущающим воздействиям в данном случае относятся начальное натяжение P_1 нити и скорость v_2 потребления нити петлеобразующими органами; управляющим воздействием является скорость v_1 подачи нити. Будем считать, что

натяжение нити находится в пределах упругих деформаций и не влияет на скорость v_1 схода и скорость v_2 потребления нити, а изменение натяжения нити при ее сходе с бобины происходит в точке A практически мгновенно.

Для составления дифференциального уравнения объекта регулирования воспользуемся условием объемного баланса перемещаемой нити, считая, что за некоторый промежуток времени dt разность между объемом V_1 нити, поступившим в зону AB , и объемом V_2 , ушедшим из этой зоны в результате петлеобразования и удлинения нити, равна изменению объема dV нити в зоне AB вследствие изменения ее сечения при деформации натяжением. В рассматриваемом случае $AB = l = \text{const}$.

Известно, что объем V_i некоторого участка нити, испытывающей упругую деформацию растяжения под действием усилия P_i , равен

$$V_i = V_0 \left[\frac{P_i}{EF_0} (1 - 2\nu) + 1 \right], \quad (47)$$

где V_0 и F_0 — объем и поперечное сечение этого же участка нити до деформации;

E — модуль продольной упругости нити;

ν — коэффициент Пуассона.

Поэтому соотношение между объемами одного и того же участка транспортируемой нити при изменении натяжения от P_1 до P_2 определяется выражением

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_2(1 - 2\nu) + EF_0}{P_1(1 - 2\nu) + EF_0}. \quad (48)$$

На основании вышеизложенного условие объемного баланса нити для зоны AB за бесконечно малый промежуток времени dt представится выражением

$$F_1 v_1 \frac{P_2(1 - 2\nu) + EF_0}{P_1(1 - 2\nu) + EF_0} dt - F_2 v_2 dt = l dF_2, \quad (49)$$

где

$$F_1 = F_0 - \frac{2\nu}{E} P_1 \text{ и } F_2 = F_0 - \frac{2\nu}{E} P_2$$

— площади поперечных сечений нити при натяжениях P_1 и P_2 .

Подставляя значения F_1 , F_2 и $dF_2 = -\frac{2\nu}{E} dP_2$ в уравнение (49), после несложных преобразований получим диф-

дифференциальное уравнение объекта регулирования:

$$2\nu l [P^* + (1 - 2\nu) P_1] \frac{dP_2}{dt} + 2\nu(1 - 2\nu)(v_2 - v_1) P_1 P_2 + \\ + P^* [(1 - 2\nu)v_1 + 2\nu v_2] P_2 = P^* [(1 - 2\nu)v_2 + 2\nu v_1] P_1 + \\ + (P^*)^2 (v_2 - v_1), \quad (50)$$

где $P^* = EF_0$ — величина, характеризующая жесткость нити и равная условному ее натяжению, соответствующему единичной относительной деформации.

Таким образом, объект регулирования при активной нитеподаче без нитенатяжного устройства описывается нелинейным дифференциальным уравнением первого порядка.

Отметим, что для большинства нитей, перерабатываемых на трикотажных машинах, $P^* \gg P_1$ и $P^* \gg P_2$. Значение коэффициента Пуассона ν находится в пределах от 0,39 до 0,63. Для качественной оценки свойств объекта примем $\nu = 0,5$, что, как следует из выражения (48), соответствует отсутствию изменения объема некоторого участка нити при его деформировании.

Представив уравнение (50) в виде $\Phi_1 \left(\frac{dP_2}{dt}, P_2, P_1, v_1, v_2 \right) = 0$, произведем его линеаризацию по методу малого параметра. Разложим это уравнение в ряд Тейлора и, опуская члены высшего порядка малости, начиная со второго, получим

$$\Phi_1(P_{2_0}, P_{1_0}, v_{1_0}, v_{2_0}) + \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial \frac{dP_2}{dt}} \right)_0 \frac{d\Delta P_2}{dt} + \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial P_2} \right)_0 \Delta P_2 + \\ + \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial P_1} \right)_0 \Delta P_1 + \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial v_1} \right)_0 \Delta v_1 + \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial v_2} \right)_0 \Delta v_2 = 0. \quad (51)$$

Индекс 0 (нуль) означает, что рассматриваемая величина имеет установившееся значение. Все частные производные, взятые при этих установившихся значениях переменных, представляют собой постоянные коэффициенты.

Определив постоянные коэффициенты линеаризованного уравнения (51) и вычтя из него почленно уравнение установившегося состояния

$$\Phi_1(P_{2_0}, P_{1_0}, v_{1_0}, v_{2_0}) = 0, \quad (52)$$

с учетом того, что $P^* \gg P_{1_0}$ и $P^* \gg P_{2_0}$, после несложных преобразований получим приближенное дифференциальное

уравнение в операторной форме записи относительно приращений безразмерных переменных

$$(T_1 p + 1) x_{\text{вых}} = k_1 \lambda_1 + k_2 \lambda_2 - k_3 x_{y_1}, \quad (53)$$

где безразмерные величины

$$x_{\text{вых}} = \frac{\Delta P_2}{P_{2_0}}; \quad \lambda_1 = \frac{\Delta P_1}{P_{1_0}}; \quad \lambda_2 = \frac{\Delta v_2}{v_{2_0}};$$

$$x_{y_1} = \frac{\Delta v_1}{v_{1_0}};$$

постоянная времени объекта

$$T_1 = \frac{l}{v_{2_0}}$$

и коэффициенты передачи объекта относительно возмущающих (λ_1 и λ_2) и управляющего (x_{y_1}) воздействий

$$k_1 = \frac{P_{1_0} v_{1_0}}{P_{2_0} v_{2_0}}; \quad k_2 = \frac{P^*}{P_{2_0}}; \quad k_3 = \frac{P^* v_{1_0}}{P_{2_0} v_{2_0}}.$$

Здесь $p = \frac{d}{dt}$ — символ дифференцирования.

Переходная характеристика объекта относительно каждого из входных воздействий представляется экспоненциальной функцией. Причем, постоянная времени объекта T_1 тем больше, чем больше длина l нити в зоне AB и меньше скорость ее потребления v_{2_0} .

В установившемся режиме работы объекта на основании выражения (53) получаем следующее уравнение статики:

$$P_{2_0} = \frac{v_{1_0}}{v_{2_0}} P_{1_0} + P^* \left(1 - \frac{v_{1_0}}{v_{2_0}} \right). \quad (54)$$

Из уравнений (53) и (54) следует, что объект регулирования является статическим по отношению ко всем входным воздействиям. На процесс нитеподачи в значительно большей мере оказывает влияние изменение скоростей v_1 и v_2 по сравнению с изменением начального натяжения P_1 , так как очевидно, что $k_2 \gg k_1$ и $k_3 \gg k_1$.

Если $P_{1_0} = 0$, то натяжение $P_{2_0} \neq 0$ и зависит всецело от отношения $\frac{v_{1_0}}{v_{2_0}}$, а при $v_{1_0} = v_{2_0}$ натяжение $P_{2_0} = P_{1_0}$.

Пассивная нитеподача при отсутствии нитенатяжного устройства. В этом случае в соответствии с технологической

схемой (рис. 117) нить 1 сматывается с бобины (навоя) 2 вследствие ее потребления работающими органами петлеобразования. Для создания необходимого натяжения P_2 нити к бобине может быть приложен тормозной момент M_T . Возмущающими воздействиями здесь являются начальное натяжение P_1 нити, скорость v_2 ее потребления, радиус сматывания r и момент инерции бобины J ; управляющим — тормозной момент M_T .

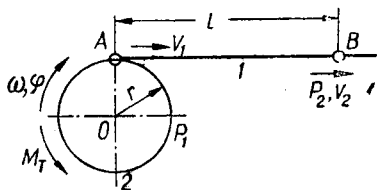


Рис. 117. Технологическая схема пассивной нитеподачи без нитенапряжного устройства.

Для составления дифференциального уравнения объекта воспользуемся уравнением объемного баланса перемещаемой нити (49).

Подставляя в него значения F_1 , F_2 , dF_2 и учитывая, что $v_1 = r\omega = r \frac{d\varphi}{dt}$, получим

$$r(P^* - 2\nu P_1) [P^* + (1 - 2\nu) P_2] \frac{d\varphi}{dt} - v_2 (P^* - 2\nu P_2) \times \\ \times [P^* + (1 - 2\nu) P_1] = -2\nu l [P^* + (1 - 2\nu) P_1] \frac{dP_2}{dt}, \quad (55)$$

где ω и φ — соответственно угловая скорость и угол поворота бобины;

r — радиус сматывания.

Уравнение движения рассматриваемой системы имеет вид:

$$J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega}{2} \cdot \frac{dJ}{dt} + M_T = P_2 r, \quad (56)$$

откуда

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{1}{J} \left(P_2 r - M_T - \frac{\omega}{2} \cdot \frac{dJ}{dt} \right). \quad (57)$$

Можно получить уравнение объекта, продифференцировав по времени выражение (55), определив из него $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ и приравняв ее правой части уравнения (57). В результате оказывается, что данный объект описывается достаточно сложным по структуре нелинейным дифференциальным уравнением второго порядка. Это уравнение после линеаризации и с учетом допущений, оговоренных в предыдущем

случае ($P^* \gg P_{1_0}$, $P^* \gg P_{2_0}$ и $\nu \approx 0,5$), приобретает вид

$$(T_2^2 \rho^2 + T_3 \rho + 1) x_{\text{вых}} = T_4 \rho \lambda_1 + T_5 \rho \lambda_2 - (T_6 \rho + 1) \lambda_3 + T_6 \rho \lambda_4 + x_{y_2}, \quad (58)$$

где безразмерные величины

$$\lambda_3 = \frac{\Delta r}{r_0}; \quad \lambda_4 = \frac{\Delta J}{J_0}; \quad x_{y_2} = \frac{\Delta M_T}{M_{T_0}}$$

и постоянные времени

$$T_2^2 = \frac{l J_0}{P^* r_0^2}; \quad T_3 = T_5 = \frac{v_{2_0} J_0}{P^* r_0^2}; \quad T_4 = \frac{P_{1_0} J_0 \omega_0}{P^* P_{2_0} r_0};$$

$$T_6 = \frac{J_0 \omega_0}{2 P_{2_0} r_0}.$$

Нетрудно видеть, что рассматриваемый объект по отношению к изменениям радиуса сматывания r (λ_3) и тормозного момента M_T (x_{y_2}) является статическим, так как в установившемся режиме существует жесткая функциональная связь между натяжением P_2 ($x_{\text{вых}}$) и указанными входными величинами. По отношению же к входным воздействиям P_1 (λ_1), v_2 (λ_2) и J (λ_4) объект представляется астатическим элементом системы автоматического регулирования.

В установившемся режиме

$$P_{2_0} = \frac{M_{T_0}}{r_0}, \quad (59)$$

откуда следует, что для поддержания постоянства натяжения нити по мере уменьшения радиуса сматывания необходимо уменьшать пропорционально радиусу тормозной момент.

В частном случае при $P_1(t) = \text{const}$, $v_2(t) = \text{const}$ в течение небольшого промежутка времени, когда радиус сматывания r и момент инерции J практически не изменяются, уравнение (58) принимает вид

$$(T_2^2 \rho^2 + T_3 \rho + 1) x_{\text{вых}} = x_{y_2}. \quad (60)$$

Переходная функция объекта в этом случае определяется решением уравнения (60) в соответствии с корнями характеристического уравнения

$$T_2^2 \rho^2 + 2\xi T_2 \rho + 1 = 0, \quad (61)$$

равными

$$\rho_{1,2} = -\frac{1}{T_2} (\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}),$$

где $\xi = \frac{T_2}{2T_2} = \frac{v_{2_0}}{2r_0} \sqrt{\frac{J_0}{EF_0 l}}$ — относительный коэффициент затухания.

При $0 < \xi < 1$ получаются комплексно сопряженные корни вида

$$p_{1,2} = -\alpha \pm j\Omega,$$

где

$$\alpha = \frac{\xi}{T_2} = \frac{v_{2_0}}{2l} \quad \text{и} \quad \Omega = \frac{1}{T_2} \sqrt{1 - \xi^2}.$$

В этом случае переходная характеристика определяется выражением

$$x_{\text{вых}}(t) = 1 - \frac{e^{-\alpha t}}{\sqrt{1 - \xi^2}} \sin(\Omega t + \Psi), \quad (62)$$

где

$$\Psi = \text{arctg} \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\xi}.$$

При единичном ступенчатом изменении управляющего воздействия в объекте протекает затухающий колебательный переходный процесс с коэффициентом затухания ξ и угловой частотой Ω , стремящийся к новому установившемуся значению (рис. 118, кривая 1).

Если относительный коэффициент затухания $\xi > 1$, то корни характеристического уравнения (61) будут вещественными и отрицательными, а переходная функция объекта приобретает вид

$$x_{\text{вых}}(t) = 1 - \frac{T_{2_1}}{T_{2_1} - T_{2_2}} e^{-\frac{t}{T_{2_1}}} + \frac{T_{2_2}}{T_{2_1} - T_{2_2}} e^{-\frac{t}{T_{2_2}}}, \quad (63)$$

где

$$T_{2_1} = \frac{T_2}{\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}} \quad \text{и} \quad T_{2_2} = \frac{T_2}{\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}}.$$

Переходный процесс в таком объекте будет аperiodическим (кривая 2, рис. 118).

Условие аperiodичности процесса определяется неравенством

$$\frac{v_{2_0}^2 J_0}{4r_0^2 EF_0 l} > 0.$$

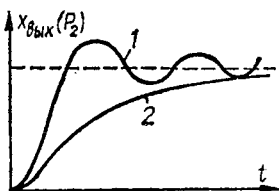


Рис. 118. Переходные характеристики объекта регулирования при пассивной нитеподаче без нитенатяжного устройства.

Учитывая, что $v_{1_0} = \omega_0 r_0$ незначительно отличается от величины v_{2_0} , получаем приближенное условие аperiodичности процесса

$$\frac{\omega_0^2 J_0}{2} \geq 4U, \quad (64)$$

где $U = \frac{EF_0 l^2}{2l}$.

Величина U представляет собой потенциальную энергию условной упругой единичной деформации участка нити между точкой схода с бобины (навоя) и петлеобразующими органами. Поэтому соотношение (64) имеет определенный физический смысл: оно определяет критическое значение кинетической энергии вращающейся бобины (левая часть неравенства) через параметры нити E , F_0 и l . При кинетической энергии, большей или равной $4U$, переходная функция объекта будет аperiodической.

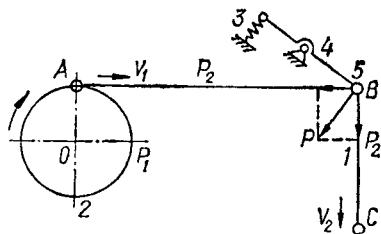


Рис. 119. Технологическая схема нитеподачи на быстроходной основовязальной машине.

Объект регулирования при активной нитеподаче и наличии нитенатяжного устройства. Механизмами активной нитеподачи с нитенатяжными устройствами типа скало оснащено большинство современных быстроходных основовязальных машин. В этом случае нити 1 основы (рис. 119) на пути своего движения от навоя 2 к петлеобразующим органам огибают скало 5, установленное на одном конце двуплечего рычага 4. На второй конец рычага действует подскальная пружина 3, уравнивающая равнодействующую P натяжения нитей и сил инерции скало.

Геометрия расположения нитей основы, навоя и скало выбирается обычно такой, чтобы равнодействующая P была направлена по возможности перпендикулярно рычагу 4 скало. Этим достигается наилучшее силовое воздействие нитей на скало, что важно для обеспечения управления существующими механизмами подачи основы. С этой же целью уменьшают угол ABC и соответственно увеличивают угол охвата скало нитями основы. Так, на машине «Фаворит» угол охвата достигает почти 180° , и равнодействующая натяжения нитей получается максимальной.

Рассмотрим объект применительно к этому случаю, упрощенно представив его динамически эквивалентной схемой, показанной на рис. 120. Возмущающими входными воздействиями при этом являются начальное натяжение нитей P_1 и скорость потребления v_2 , а управляющим — скорость подачи v_1 .

Оставив в силе допущения, принятые для предыдущих случаев, будем считать также, что трение нитей о скало пренебрежимо мало и затухание в динамической системе скало обусловлено исключительно силой вязкого трения, пропорционального скорости.

Уравнение объемного баланса перемещаемых нитей несколько изменяется сравнительно с ранее рассмотренными случаями активной и пассивной нитеподачи без нитенатяжного устройства вследствие того, что объем нитей в зоне ABC изменяется не только из-за изменения площади их поперечного сечения под действием силы натяжения, но и вследствие изменения их длины из-за перемещения скало

$$F_1 v_1 \frac{P^* + (1 - 2\nu) P_2}{P^* + (1 - 2\nu) P_1} dt - F_2 v_2 dt = l dF_2 + F_2 dl. \quad (65)$$

В отличие от уравнения (49) в правой части уравнения (65) появился дополнительный член $F_2 dl$, так как длина нити на участке ABC является величиной переменной.

В соответствии с технологической схемой рассматриваемого объекта абсолютная деформация нитей в зоне ABC равна удвоенному перемещению скало. Поэтому

$$\frac{dl}{dt} = -2 \frac{dy}{dt}, \quad (66)$$

где y — перемещение скало.

Скало в динамическом отношении представляет собой колебательный элемент и описывается дифференциальным уравнением второго порядка

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + h \frac{dy}{dt} + ky = 2P_2, \quad (67)$$

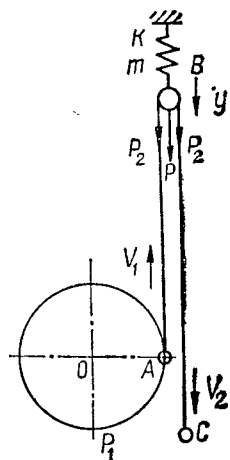


Рис. 120. Упрощенная технологическая схема объекта регулирования при активной нитеподаче с нитенатяжным устройством.

где m — приведенная к точке B масса скало;

h — коэффициент вязкого трения;

k — коэффициент приведенной жесткости подскальной пружины.

Для получения уравнения объекта следует решить совместно уравнения (65), (66) и (67), исключая промежуточную переменную y . С этой целью необходимо несколько раз продифференцировать уравнение (65), затем определить значения производных $\frac{d^3y}{dt^3}$, $\frac{d^2y}{dt^2}$ и $\frac{dy}{dt}$ и подставить эти значения в продифференцированное уравнение (67). В результате получается сложное по структуре нелинейное дифференциальное уравнение третьего порядка, которое после линеаризации и упрощения можно представить в виде

$$(T_7^3 \rho^3 + T_8^2 \rho^2 + T_9 \rho + 1) x_{\text{вых}} = k_1 (T_{10}^2 \rho^2 + T_{11} \rho + 1) \lambda_1 + k_2 (T_{10}^2 \rho^2 + T_{11} \rho + 1) \lambda_2 - k_3 (T_{10}^2 \rho^2 + T_{11} \rho + 1) x_{y_1}, \quad (68)$$

где определенные приближенно постоянные времени

$$T_7^3 = \frac{ml_0}{kv_{2_0}}; \quad T_8 = \frac{mv_{2_0} + hl_0}{kv_{2_0}};$$

$$T_9 = \frac{hv_{2_0} + kl_0 + 4P^*}{kv_{2_0}}; \quad T_{10}^2 = \frac{m}{k}; \quad T_{11} = \frac{h}{k}$$

и коэффициенты передачи объекта относительно возмущающих (P_1 и v_2) и управляющего (v_1) воздействий

$$k_1 = \frac{v_{1_0} P_{1_0}}{v_{2_0} P_{2_0}}; \quad k_2 = \frac{P^*}{P_{2_0}}; \quad k_3 = \frac{P^* v_{1_0}}{P_{2_0} v_{2_0}}.$$

Уравнение установившегося состояния объекта приобретает точно такой же вид, как и уравнение статики (54) для объекта регулирования с активной нитеподачей без нитенатяжного устройства.

Таким образом, при отсутствии нитенатяжного устройства объект регулирования с активной нитеподачей обладает такими же статическими свойствами, как и при наличии этого устройства. Динамические же свойства этих объектов существенно различны. Главным возмущающим воздействием на объект является изменение скорости v_2 потребления нитей петлеобразующими органами. В равной мере эффективным является действие входной управляющей величины — скорости подачи нитей v_1 .

Отметим, что математическое описание объекта регулирования при пассивной нитеподаче и наличии нитенатяжного устройства еще более усложняется. Такой объект описывается дифференциальным уравнением четвертого порядка.

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ
И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ
И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ,
СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ

В общем случае дифференциальное уравнение элемента или системы (составленное на основании уравнений отдельных элементов), связывающее изменение выходных и входных величин во времени, имеет вид

$$a_n \frac{d^n x_{\text{ВЫХ}}}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_{\text{ВЫХ}}}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_{\text{ВЫХ}}}{dt} + a_0 x_{\text{ВЫХ}} = \\ = b_m \frac{d^m x_{\text{ВХ}}}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_{\text{ВХ}}}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx_{\text{ВХ}}}{dt} + b_0 x_{\text{ВХ}}, \quad (69)$$

где

$a_n, a_{n-1}, \dots, a_0, b_m, b_{m-1}, \dots, b_0$ — постоянные коэффициенты; $x_{\text{ВЫХ}}$ и $x_{\text{ВХ}}$ — соответственно выходная и входная величины элемента или системы.

Дифференциальное уравнение (69) можно записать в операторной форме. Тогда

$$(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0) x_{\text{ВЫХ}} = \\ = (b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0) x_{\text{ВХ}}. \quad (70)$$

При нулевых начальных условиях (при $t \leq 0$ входная и выходная величины, а также их производные тождественно равны нулю) операторная форма записи дифференциального уравнения совпадает с записью уравнения, преобразованного по Лапласу. В соответствии с этим преобразованием оригинал величины $x(t)$ и ее изображение $X(p)$ связаны интегралом

$$X(p) = \int_0^{\infty} x(t) e^{-pt} dt.$$

Здесь p — комплексная переменная.

Поэтому уравнение (70) можно представить следующим образом:

$$X_{\text{вых}}(p) = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0} X_{\text{вх}}(p). \quad (71)$$

Взяв отношение изображения выходной величины к изображению входной величины, получим передаточную функцию $W(p)$ элемента или системы

$$W(p) = \frac{X_{\text{вых}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}. \quad (72)$$

При $p = 0$ передаточная функция вырождается в обычный коэффициент усиления элемента или системы. Если

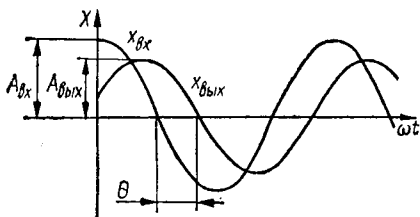


Рис. 121. Прохождение гармонического установившегося воздействия.

коэффициент усиления системы определяет зависимость между выходной и входной величинами в установившемся состоянии, то передаточная функция отражает связь между этими величинами и в переходных режимах. Поэтому передаточная функция так

же, как и дифференциальное уравнение, полностью определяет динамические свойства элемента или системы.

Для оценки динамических свойств широко применяются также частотные характеристики.

Пусть на вход элемента или системы подано гармоническое воздействие вида $x_{\text{вх}} = A_{\text{вх}} \cos \omega t$ (где $A_{\text{вх}}$ — амплитуда, а ω — угловая частота этого воздействия).

В установившемся режиме выходная величина также будет гармонической функцией той же частоты, но отличающейся от входной величины амплитудой и фазой $x_{\text{вых}} = A_{\text{вых}} (\cos \omega t + \theta)$ (рис. 121).

Применяя формулу Эйлера, представим входную и выходную величины в комплексной форме

$$x_{\text{вх}} = \frac{A_{\text{вх}}}{2} (e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) = x_{\text{вх}_1} + x_{\text{вх}_2}$$

$$x_{\text{вых}} = \frac{A_{\text{вых}}}{2} [e^{j(\omega t + \theta)} + e^{-j(\omega t + \theta)}] = x_{\text{вых}_1} + x_{\text{вых}_2}$$

В линейной системе достаточно рассмотреть прохождение составляющей $x_{\text{вх}1}$, которая в выходной величине дает составляющую $x_{\text{вых}1}$. Поэтому воспользуемся символической записью

$$\left. \begin{aligned} x_{\text{вх}} &= A_{\text{вх}} e^{j\omega t}; \\ x_{\text{вых}} &= A_{\text{вых}} e^{j(\omega t + \theta)}. \end{aligned} \right\} \quad (73)$$

Учитывая, что $p^k (x e^{j\omega t}) = (j\omega)^k x e^{j\omega t}$, подставим выражение (73) в уравнение (70). Тогда

$$\begin{aligned} [a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_1 j\omega + a_0] A_{\text{вых}} e^{j\omega t} e^{j\theta} = \\ = [b_m (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_1 j\omega + b_0] A_{\text{вх}} e^{j\omega t}, \end{aligned}$$

откуда

$$\frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}} e^{j\theta} = \frac{b_m (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_1 j\omega + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_1 j\omega + a_0}. \quad (74)$$

Легко видеть, что отношение (74) представляет собой передаточную функцию элемента или системы (72), в которой сделана подстановка $p = j\omega$, т. е.

$$W(j\omega) = \frac{b_m (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_1 j\omega + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_1 j\omega + a_0}. \quad (75)$$

Выражение $W(j\omega)$ называется комплексным коэффициентом усиления элемента или системы. Комплексный коэффициент усиления определяет зависимость параметров установившихся выходных колебаний от тех же параметров входных колебаний при различных частотах. Его можно представить на комплексной плоскости как геометрическую сумму вещественной $Re(\omega)$ и мнимой $Im(\omega)$ частей

$$W(j\omega) = Re(\omega) + jIm(\omega) \quad (76)$$

или в полярных координатах в показательной форме с модулем $A(\omega)$ и фазой $\theta(\omega)$

$$W(j\omega) = A(\omega) e^{j\theta(\omega)}, \quad (77)$$

где

$$\begin{aligned} A(\omega) &= \frac{A_{\text{вых}}(\omega)}{A_{\text{вх}}(\omega)} = \sqrt{Re^2(\omega) + Im^2(\omega)}, \\ \theta(\omega) &= \text{arctg} \frac{Im(\omega)}{Re(\omega)}. \end{aligned}$$

Изображение зависимости $W(j\omega)$ от частоты на комплексной плоскости называется амплитудно-фазовой частот-

ной характеристикой. Зависимость модуля комплексного коэффициента усиления от частоты $A(\omega)$ называется амплитудной частотной характеристикой, а $\theta(\omega)$ — фазовой частотной характеристикой элемента или системы.

Системы автоматического регулирования содержат различные элементы, отличающиеся назначением, конструкцией, принципом действия. Важно различать эти элементы по их динамическим свойствам, по их месту и роли в преобразовании сигналов, осуществляющих взаимодействие между составными частями системы. Любую линейную систему автоматического регулирования можно разбить на элементарные динамические звенья, которые описываются простыми алгебраическими уравнениями или дифференциальными уравнениями не выше второго порядка. Причем число этих звеньев оказывается небольшим.

Общей особенностью всех типовых динамических звеньев является однонаправленность их действия: входные величины влияют на выходные, а обратное воздействие — выходящих на входные — отсутствует.

Основные сведения о типовых динамических звеньях — их уравнения, передаточные функции, переходные функции, выражения для комплексных коэффициентов усиления — приведены в табл. 2.

В зависимости от того, какие величины приняты за входную и выходную, а также от принятых при математическом описании допущений один и тот же элемент может быть отображен различными типовыми звеньями. Например, безынерционный электродвигатель при входной величине — напряжении на якоре $U_{я}$ и выходной — угловой скорости является безынерционным звеном с передаточной функцией

$$W_1(p) = \frac{\omega(p)}{U_{я}(p)} = k_1.$$

Этот же элемент при выходной величине — угле поворота φ выходного вала представляется интегрирующим звеном

$$W_2(p) = \frac{\varphi(p)}{U_{я}(p)} = \frac{k_1}{p}.$$

Если учесть электромеханическую постоянную времени двигателя, то получим апериодическое звено первого порядка:

$$W_3(p) = \frac{\omega(p)}{U_{я}(p)} = \frac{k_1}{T_{мп}p + 1}$$

Таблица 2

Основные сведения о типовых динамических звеньях

Тип и уравнение звена	Передающая функция $W(p)$	Переходная функция $x_{\text{вых}}(t)$	Комплексный коэффициент усиления $W(j\omega)$
Безынерционное (идеальное) $x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}$	k	k	k
Апериодическое первого порядка $(Tp + 1)x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}$	$\frac{k}{Tp + 1}$	$k(1 - e^{-\frac{t}{T}})$	$\frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}} e^{-j \arctg T\omega}$
Апериодическое второго порядка $(T^2p^2 + 2\xi Tp + 1)x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}$ при $\xi > 1$	$\frac{k}{T^2p^2 + 2\xi Tp + 1}$	$k \left(1 - \frac{T_1}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_1}} + \frac{T_2}{T_1 - T_2} e^{-\frac{t}{T_2}} \right)$, где $T_{1,2} = \frac{T}{\xi \mp \sqrt{\xi^2 - 1}}$	$\frac{ke^{-i(\arctg T_1\omega + \arctg T_2\omega)}}{\sqrt{(T_1^2\omega^2 + 1)(T_2^2\omega^2 + 1)}}$
Колебательное $(T^2p^2 + 2\xi Tp + 1)x_{\text{вых}} = kx_{\text{вх}}$ при $0 < \xi < 1$	$\frac{k}{T^2p^2 + 2\xi Tp + 1}$	$k \left[1 - \frac{e^{-\frac{\xi t}{T}}}{\sqrt{1 - \xi^2}} \times \right.$ $\left. \times \sin(\Omega t + \psi) \right]$, где $\Omega = \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{T}$; $\psi = \arctg \frac{\sqrt{1 - \xi^2}}{\xi}$	$\frac{ke^{-j \arctg \frac{2\xi T\omega}{1 - T^2\omega^2}}}{\sqrt{(1 - T^2\omega^2)^2 + 4\xi^2 T^2\omega^2}}$

Тип и уравнение звена	Передаточная функция $W(p)$	Переходная функция $x_{\text{ВЫХ}}(t)$	Комплексный коэффициент усиления $W(j\omega)$
Идеальное интегрирующее $p x_{\text{ВЫХ}} = k x_{\text{ВХ}}$	$\frac{k}{p}$	kt	$\frac{k}{\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}}$
Инерционное интегрирующее $p(Tp + 1)x_{\text{ВЫХ}} = kx_{\text{ВХ}}$	$\frac{k}{p(Tp + 1)}$	$k[t - T(1 - e^{-\frac{t}{T}})]$	$\frac{k}{\omega \sqrt{T^2\omega^2 + 1}} e^{-j(\frac{\pi}{2} + \text{arctg } T\omega)}$
Идеальное дифференцирующее $x_{\text{ВЫХ}} = kpx_{\text{ВХ}}$	kp	$k\delta(t)$	$k\omega e^{j\frac{\pi}{2}}$
Инерционное дифференцирующее $(Tp + 1)x_{\text{ВЫХ}} = kpx_{\text{ВХ}}$	$\frac{kp}{Tp + 1}$	$\frac{k}{T} e^{-\frac{t}{T}}$	$\frac{k\omega}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}} e^{j(\frac{\pi}{2} - \text{arctg } T\omega)}$
Запаздывающее $x_{\text{ВЫХ}}(t) = x_{\text{ВХ}}(t - \tau)$	$e^{-p\tau}$	$1(t - \tau)$	$e^{-j\omega\tau}$

или интегрирующее звено

$$W_4(p) = \frac{\varphi(p)}{U_{\text{я}}(p)} = \frac{k_1}{p(T_{\text{м}}p + 1)}.$$

Наконец, если учесть также и электромагнитную постоянную времени двигателя, то при выходной величине — угловой скорости получим звено второго порядка:

$$W_5(p) = \frac{\omega(p)}{U_{\text{я}}(p)} = \frac{k_1}{T_{\text{м}}T_{\text{э}}p^2 + T_{\text{м}}p + 1}.$$

Элемент системы регулирования не обязательно отображается одним типовым звеном. В зависимости от сложности уравнения элемента он может быть представлен несколькими определенным образом соединенными типовыми звеньями. С другой стороны, несколько простых элементов иногда можно отобразить одним типовым звеном.

В системах автоматического регулирования звенья могут соединяться в самых различных сочетаниях, образуя структурные схемы. В этих схемах показываются точки приложения воздействий и возможные пути распространения сигналов, осуществляющих взаимодействие между звеньями системы. Звенья направленного действия изображаются прямоугольниками, внутри которых пишется номер звена или его передаточная функция; связи между звеньями обозначаются линиями со стрелками, указывающими направление передачи воздействий; суммирующие элементы, в которых складываются или вычитаются воздействия, изображаются кружками, разделенными на секторы (секторы, в которых происходит вычитание, зачерняются); узлы разветвления воздействий обозначаются зачерненными точками.

Структурная схема является условным графическим изображением дифференциальных уравнений, описывающих систему. По структурной схеме легко можно получить общее дифференциальное уравнение системы и, наоборот, по уравнениям элементов системы можно построить структурную схему.

В системах любой сложности встречаются три основных вида соединений звеньев: последовательное, параллельное и схват звена обратной связью.

При последовательном соединении звеньев выходная величина предыдущего звена является входной величиной последующего (рис. 122).

Передаточная функция такого соединения в целом

$$W(p) = \frac{x_4(p)}{x_1(p)} = \frac{x_2(p)}{x_1(p)} \cdot \frac{x_3(p)}{x_2(p)} \cdot \frac{x_4(p)}{x_3(p)},$$

откуда

$$W(p) = W_1(p) W_2(p) W_3(p). \quad (78)$$

Таким образом, передаточная функция системы последовательно соединенных звеньев равна произведению передаточных функций отдельных звеньев.

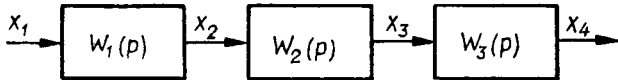


Рис. 122. Последовательное соединение звеньев.

При параллельном соединении звеньев входная величина системы x_1 одновременно подается на входы всех звеньев, а ее выходная величина x_5 равна сумме выходных величин отдельных звеньев (рис. 123). Здесь

$$W(p) = \frac{x_5(p)}{x_1(p)} = \frac{x_2(p) + x_3(p) + x_4(p)}{x_1(p)}.$$

Поэтому результирующая передаточная функция системы, состоящей из параллельно соединенных звеньев, равна сумме передаточных функций этих звеньев

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) + W_3(p) + \dots \quad (79)$$

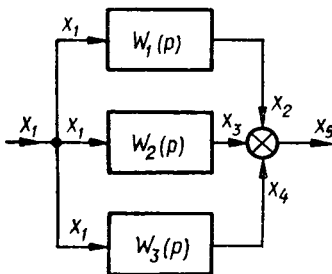


Рис. 123. Параллельное соединение звеньев.

При охвате звена обратной связью (рис. 124) сигнал x_2 с выхода основного звена, проходя через звено обратной связи с передаточной функцией $W_{o.c}(p)$, подается на вход основного звена вместе с входным сигналом x_1 . Обратная связь может

быть положительной, если сигнал $x_{o.c}$ суммируется с сигналом x_1 , и отрицательной, если $x_{o.c}$ вычитается из входной величины x_1 .

Для рассматриваемого случая справедливы следующие соотношения:

$$x_2(p) = W_1(p) [x_1(p) \pm x_{o.c}(p)];$$

$$x_{o.c}(p) = W_{o.c}(p) x_2(p),$$

откуда получаем результирующую передаточную функцию системы

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 \mp W_1(p) W_{o.c}(p)} \quad (80)$$

Здесь знак минус относится к положительной, а знак плюс — к отрицательной обратной связи.

Структурную схему системы автоматического регулирования можно получить из ее функциональной схемы (см. рис. 112), определив передаточные функции всех входящих в функциональную схему элементов. На основании структурной схемы, воспользовавшись указанными правилами, легко определить передаточную функцию системы, а затем — описывающее ее поведение дифференциальное уравнение.

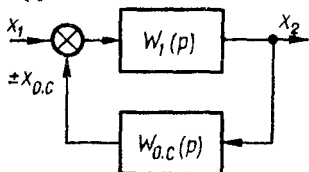


Рис. 124. Охват звена обратной связью.

ПОЗИЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ

Для регулирования технологических параметров объектов, обладающих значительной инерционностью, широко используются позиционные регуляторы, среди которых наи-

более простыми являются двухпозиционные. При двухпозиционном регулировании регулирующий орган имеет только два фиксированных положения — полностью открыт и полностью или частично закрыт. Соответственно приток энергии или вещества к объекту имеет только два значения — максимальное и минимальное. В качестве выходного элемента двухпозиционного регулятора чаще

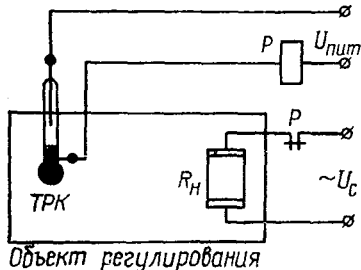


Рис. 125. Система двухпозиционного регулирования температуры.

всего используется реле, и крайние положения регулирующего органа соответствуют включенному и отключенному состояниям реле.

На рис. 125 показана принципиальная схема системы двухпозиционного регулирования температуры объекта с

электрическим нагревателем R_n . Измерительным устройством служит ртутный термометр $ТРК$ с электроконтактами. При повышении температуры объекта по сравнению с заданным значением контакты ртутного термометра

замыкают цепь питания обмотки реле P , и нагреватель R_n отключается от сетевого напряжения U_c . При снижении температуры объекта обмотка реле P обесточивается, и через размыкающий контакт реле P получает питание нагреватель.

Процесс двухпозиционного регулирования

в сильной мере зависит от ширины зоны нечувствительности ($2c$) регулятора, определяемой физическими свойствами его элементов, и от динамических свойств объекта. В некоторых случаях зона нечувствительности может быть пренебрежимо малой, т. е. можно считать, что она отсутствует.

Характеристики двухпозиционных регуляторов представлены на рис. 126. Здесь принято, что значение регулируемой величины $x_{вых} = 0$ соответствует ее заданному значению. При отклонении регулируемой величины от ее заданного значения управляющее воздействие регулятора x_y изменяет приток $Q_{пр}$ энергии или вещества к объекту скачкообразно от нуля до максимального значения или, наоборот, что зависит от знака отклонения $x_{вых}$.

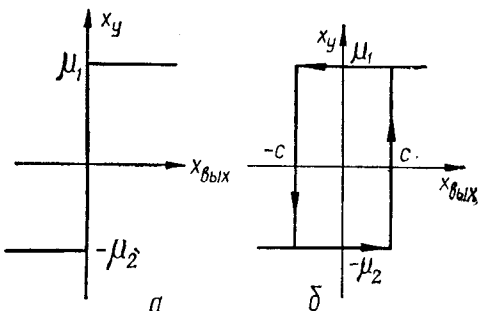


Рис. 126. Статические характеристики систем двухпозиционного регулирования:

a — без зоны нечувствительности; b — с зоной нечувствительности.

Обозначив в общем случае управляющее воздействие на объект через μ_1 и μ_2 в приращениях от условно равновесного

состояния, получим для регулятора без зоны нечувствительности (рис. 127, а)

$$\left. \begin{aligned} x_y &= \mu_1 \text{ при } x_{\text{вых}} > 0; \\ x_y &= -\mu_2 \text{ при } x_{\text{вых}} < 0 \end{aligned} \right\} \quad (81)$$

и для регулятора с зоной нечувствительности рис. (127, б)

$$\left. \begin{aligned} x_y &= \mu_1 \text{ при } x_{\text{вых}} \geq c; \\ x_y &= -\mu_2 \text{ при } x_{\text{вых}} \leq -c; \\ x_y &= \mu_1 \text{ при } -c < x_{\text{вых}} < c \text{ и } \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} < 0; \\ x_y &= -\mu_2 \text{ при } -c < x_{\text{вых}} < c \text{ и } \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} > 0. \end{aligned} \right\} \quad (82)$$

При $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ статические характеристики двухпозиционных регуляторов оказываются симметричными.

Рассмотрим процесс двухпозиционного регулирования для одноемкостных объектов при отсутствии возмущающих воздействий.

Объект без самовыравнивания и без запаздывания. В этом случае уравнение объекта в соответствии с выражением (42) при $\delta = 0$ имеет вид

$$T_p \frac{dx_{\text{вых}}}{dt} = x_y.$$

При поступлении на вход объекта от двухпозиционного регулятора величины $x_y = \mu$ регулируемая величина изменяется по прямой

$$x_{\text{вых}} = \frac{1}{T_p} \mu t.$$

При симметричной статической характеристике двухпозиционного регулятора с зоной нечувствительности процесс изменения регулируемой величины $x_{\text{вых}}$ происходит в соответствии с пилообразной кривой, а изменение управляющего воздействия осуществляется скачками (рис. 128) в моменты времени, когда регулируемая величина достигает граничных значений зоны нечувствительности. В установившемся режиме возникают характерные для нелинейных систем автоколебания регулируемой величины относительно заданного значения в диапазоне от $-c$ до $+c$. Период этих колебаний T_k равен сумме полупериодов включения $t_{\text{вкл}}$ и выключения $t_{\text{выкл}}$ притока.

Нетрудно видеть, что

$$T_k = \frac{4cT_p}{\mu}. \quad (83)$$

Одноемкостный объект без самовыравнивания с запаздыванием. При ступенчатом изменении управляющего воздействия регулируемая величина также изменяется по прямой, но сдвигается во времени на величину запаздывания τ (рис. 129). Поэтому в течение промежутка времени t

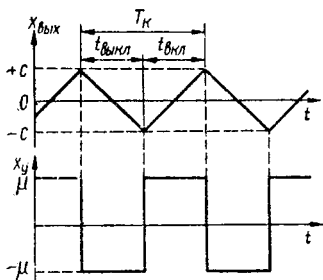


Рис. 128. Процессы в системе двухпозиционного регулирования в случае объекта без самовыравнивания и без запаздывания.

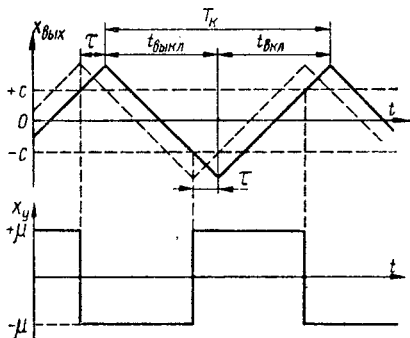


Рис. 129. Процессы в системе двухпозиционного регулирования в случае объекта без самовыравнивания с запаздыванием.

после переключения регулятора регулируемая величина продолжает отклоняться в направлении, соответствующем предыдущему входному сигналу, и диапазон ее колебаний больше ширины зоны нечувствительности на величину $2 \frac{\mu}{T_p} \tau$, а период колебаний при симметричной статической характеристике регулятора определяется выражением

$$T_k = 4 \left(\tau + \frac{cT_p}{\mu} \right). \quad (84)$$

Из сказанного следует, что наличие запаздывания в системе приводит к увеличению ошибки регулирования.

Одноемкостный объект с самовыравниванием. При отсутствии запаздывания автоколебания регулируемой величины происходят в пределах от $-c$ до $+c$, как и в случае объекта без самовыравнивания (рис. 130). Однако при переключениях регулирующего органа процесс изменения

регулируемой величины протекает по экспоненциальному закону в соответствии с формулой (45). Из рисунка видно, что диапазон колебаний регулируемой величины может быть определен по формуле

$$\Delta x_{\text{вых}} = 2c = (k_{\text{об}}\mu + c) \left(1 - e^{-\frac{t_{\text{вкл}}}{T}}\right).$$

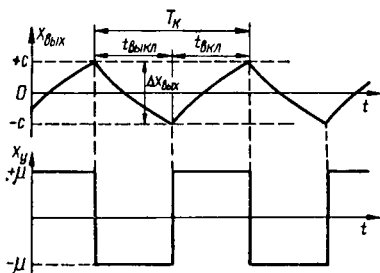


Рис. 130. Процессы в системе двухпозиционного регулирования в случае объекта с самовыравниванием без запаздывания.

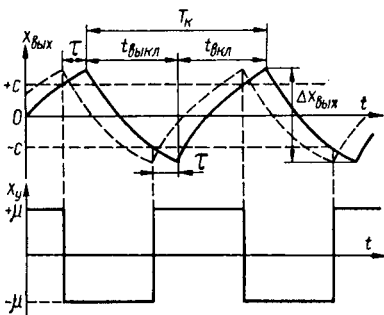


Рис. 131. Процессы в системе двухпозиционного регулирования в случае объекта с самовыравниванием и с запаздыванием.

Из этого выражения путем несложных преобразований можно определить длительность включения (и выключения) притока

$$t_{\text{вкл}} = t_{\text{выкл}} = T \ln \frac{k_{\text{об}}\mu + c}{k_{\text{об}}\mu - c},$$

откуда период установившихся колебаний равен

$$T_k = 2T \ln \frac{k_{\text{об}}\mu + c}{k_{\text{об}}\mu - c}. \quad (85)$$

Запаздывание в объекте с самовыравниванием также приводит к увеличению диапазона колебаний регулируемой величины (рис. 131). Параметры автоколебаний в этом случае определяются по следующим формулам:

$$\Delta x_{\text{вых}} = 2 \left[k_{\text{об}}\mu \left(1 - e^{-\frac{\tau}{T}}\right) + ce^{-\frac{\tau}{T}} \right]; \quad (86)$$

$$T_k = 2 \left[\tau + T \ln \frac{2k_{\text{об}}\mu - (k_{\text{об}}\mu - c)e^{-\frac{\tau}{T}}}{k_{\text{об}}\mu - c} \right]. \quad (87)$$

Иногда при анализе процессов двухпозиционного регулирования самовыравниванием объекта пренебрегают. Это позволяет упростить расчет параметров автоколебаний, однако приводит к некоторым погрешностям.

Для осуществления двухпозиционного регулирования технологических параметров применяются специальные регулирующие устройства, регулирующие приборы и автоматические регуляторы. Простейшие регулирующие устройства встраиваются в электронные автоматические мосты и

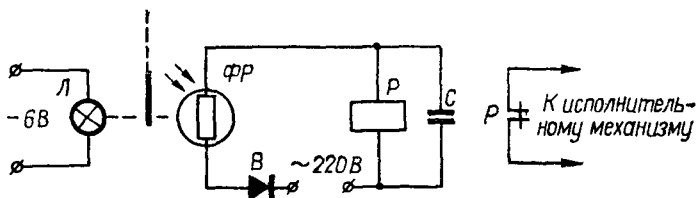


Рис. 132. Схема фотоэлектрического двухпозиционного регулирующего устройства.

потенциометры (например, КСП4 и КСМ4). Такие приборы оснащаются одно-, двух- или трехконтактными устройствами. Электрические контакты переключаются с помощью профилированных гетинаксовых дисков, связанных с реверсивным двигателем прибора. При изменении регулируемой величины вместе с отклонением указателя прибора поворачивается диск относительно контактной группы, и в заранее установленной зоне происходит включение (или выключение) электрического контакта.

Указанные контактные устройства автоматических мостов и потенциометров используются в системах позиционного регулирования, а также для автоматической сигнализации предельных значений технологических параметров.

В магнитоэлектрических логометрах и милливольтметрах (например, ЛР1, МСЦПр) применяются фотоэлектрические двухпозиционные регулирующие устройства (рис. 132). С этой целью на стрелке прибора устанавливается флажок Φ , который при перемещении стрелки в заданную зону перекрывает световой поток от осветителя L к фоторезистору FR . При этом сопротивление фоторезистора резко увеличивается, реле P отпускает, замыкая своим размыкающим контактом цепь исполнительного механизма системы двухпозиционного регулирования.

Рассмотрим примеры двухпозиционных автоматических

регуляторов. Полупроводниковый регулятор ПТР-2 осуществляет двухпозиционный закон регулирования температуры жидкости и газообразных сред (рис. 133).

Измерительным устройством терморегулятора является термистор $R9$ типа ММТ-1, включенный в одно из плеч неравновесного моста переменного тока. Заданное значение

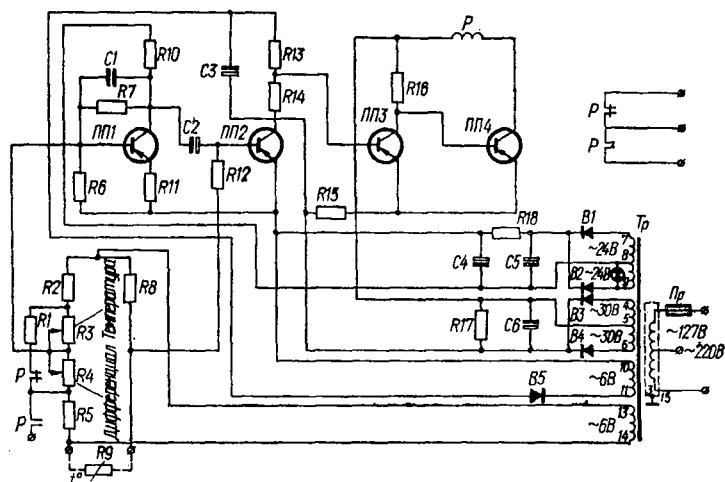


Рис. 133. Принципиальная электрическая схема терморегулятора ПТР-2.

температуры устанавливается перемещением движка потенциометра $R3$ («температура»), а ширина зоны нечувствительности регулятора определяется положением движка потенциометра $R4$ («дифференциал»). Напряжение разбаланса с измерительной диагонали моста усиливается полупроводниковым усилителем на транзисторах ПП1 и ПП2, фаза выходного сигнала которого зависит от знака отклонения регулируемой температуры. Выходной сигнал усилителя приложен к входу спускового устройства на транзисторах ПП3 и ПП4, управляющего выходным реле P , контакты которого включают исполнительный механизм.

При подключении параллельно потенциометру $R4$ размыкающего контакта реле P (как показано на схеме) спусковое устройство регулятора, а следовательно, и выходное реле P срабатывают при уменьшении температуры. При срабатывании реле изменяется сопротивление одного из плеч

измерительного моста, благодаря чему обеспечивается требуемая зона нечувствительности регулятора.

На рис. 134 приведена принципиальная схема электрического сигнализатора уровня ЭСУ-1, который предназначен для контроля и двухпозиционного автоматического регулирования уровня жидких, сыпучих и гранулированных сред. При отклонении уровня изменяется емкость C_d системы электрод датчика — контролируемая среда. Эта емкость

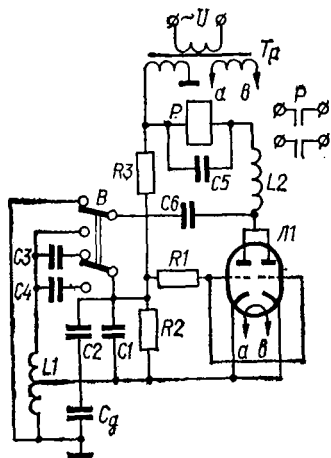


Рис. 134. Принципиальная электрическая схема сигнализатора уровня ЭСУ-1.

подключена через разделительный конденсатор $C2$ к сеточному колебательному контуру высокочастотного генератора колебаний на лампе $Л1$. В схеме имеются два колебательных контура: один в анодной цепи лампы, другой — в сеточной. При уровне среды ниже электрода датчика анодный и сеточный контуры генератора настраивают в резонанс изменением емкости конденсатора $C1$. При этом постоянная составляющая тока в анодной цепи лампы имеет минимальное значение, и реле P отключено.

При повышении уровня среды емкость датчика C_d резко возрастает вследствие увеличения диэлектрической проницаемости среды. Это приводит к срыву генерации и, следовательно, к увеличению постоянной составляющей анодного тока лампы. Выходное реле P срабатывает и своими контактами коммутирует цепи сигнализации и исполнительного механизма системы регулирования.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Регуляторы непрерывного действия классифицируются по закону регулирования — закону изменения управляющего воздействия в зависимости от изменения регулируемой величины. Наиболее часто применяются пропорциональный, интегральный, пропорционально-интегральный и

пропорционально-интегрально-дифференциальный законы регулирования.

Пропорциональное регулирование. Пропорциональные регуляторы (П-регуляторы) воздействуют на регулирующий орган пропорционально отклонению регулируемой величины x от заданного значения:

$$x_y = k_p x. \quad (88)$$

Передачная функция П-регулятора

$$W_{\text{П}}(p) = k_p. \quad (89)$$

Коэффициент k_p называется коэффициентом передачи регулятора. Численно он определяет перемещение регулирующего органа, которое осуществляет регулятор при отклонении регулируемой величины на единицу.

В динамическом отношении П-регулятор обладает свойствами безынерционного звена: при скачкообразном изменении регулируемой величины управляющее воздействие изменяется также скачкообразно.

Пример простейшей системы с П-регулятором приведен на рис. 135. Здесь благодаря наличию жесткой связи между вентилем (регулирующим органом) и поплавком (измерительным устройством) осуществляется П-закон регулирования.

Для создания требуемого управляющего воздействия, устраняющего соответствующее влияние внешнего возмущающего воздействия (изменения расхода жидкости Q_p), обязательно должно иметь место отклонение регулируемой величины. Отсюда следует, что при пропорциональном регулировании в установившемся режиме всегда имеет место отклонение регулируемой величины от заданного значения, называемое статической ошибкой регулирования. Значение регулируемой величины зависит от возмущающего воздействия (нагрузки) на объект регулирования. Поэтому системы пропорционального регулирования называют также статическими по отношению к данному возмущающему воздействию. Статическая характеристика рассматриваемой системы приведена на рис. 136.

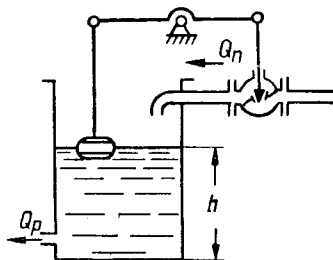


Рис. 135. Система регулирования уровня с П-регулятором.

Наличие статической ошибки — недостаток П-регулятора. Однако такие регуляторы позволяют наиболее устойчиво регулировать работу практически всех промышленных регулируемых объектов.

Интегральное регулирование. Интегральные регуляторы (И-регуляторы) воздействуют на регулирующий орган

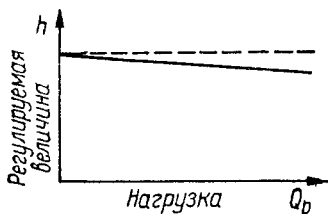


Рис. 136. Статическая характеристика системы пропорционального регулирования уровня.

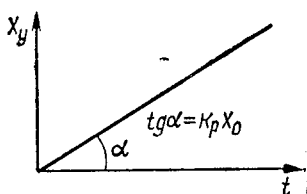


Рис. 137. Переходная характеристика И-регулятора.

пропорционально интегралу от отклонения регулируемой величины:

$$x_y = k_p \int x dt. \quad (90)$$

Передаточная функция И-регулятора

$$W_{И}(p) = \frac{k_p}{p}, \quad (91)$$

где k_p — коэффициент передачи регулятора, численно равный скорости перемещения регулирующего органа при отклонении регулируемой величины на единицу.

В динамическом отношении И-регулятор обладает свойствами интегрирующего звена: при скачкообразном изменении регулируемой величины от 0 до x_0 управляющее воздействие нарастает по линейному закону (рис. 137) со скоростью, пропорциональной отклонению регулируемой величины*.

Пример системы с И-регулятором приведен на рис. 138. Здесь при отклонении уровня от заданного значения возникает сигнал рассогласования, который усиливается усилителем $У$. Нагрузкой усилителя служит якорная обмотка

* Предполагается, что на вход регулятора действует некомпенсированное отклонение регулируемой величины.

двигателя D , который перемещает клапан (регулирующий орган) до тех пор, пока уровень не станет равным заданному значению. Скорость вращения вала двигателя пропорциональна отклонению регулируемой величины, откуда следует, что перемещение регулирующего органа пропорционально интегралу от этого отклонения. Двигатель, выполняя функцию интегрирующего звена, остановится только при отсутствии сигнала рассогласования.

Таким образом, особенностью систем интегрального регулирования является то, что в установившемся режиме одному и тому же значению регулируемой величины могут соответствовать различные значения управляющего воздействия. Это — положительная особенность И-регулятора, так как регулируемая величина поддерживается на заданном значении независимо от нагрузки Q_p объекта (рис. 139). Следовательно, системы интегрального регулирования не имеют статической ошибки и поэтому их называют астатическими. Однако И-регуляторы могут устойчиво регулировать работу только объектов, обладающих самовывравниванием.

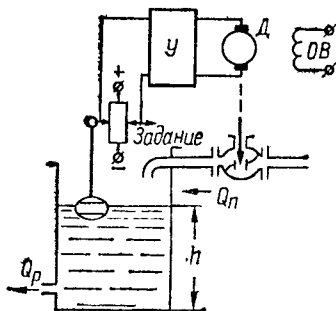


Рис. 138. Система регулирования уровня с И-регулятором.

Пропорционально-интегральное регулирование. Пропорционально-интегральные регуляторы (ПИ-регуляторы) оказывают воздействие на регулирующий орган пропорционально отклонению и интегралу от отклонения регулируемой величины:

$$x_y = k_p \left(x + \frac{1}{T_n} \int x dt \right). \quad (92)$$

Передаточная функция ПИ-регулятора

$$W_{\text{пи}}(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_n p} \right). \quad (93)$$

Постоянная времени T_n называется временем изодрома. Она определяет величину составляющей управляющего воздействия регулятора, пропорциональной интегралу от отклонения регулируемой величины.

В динамическом отношении ПИ-регулятор эквивалентен системе из двух параллельно включенных регуляторов: пропорционального с коэффициентом передачи k_p и интегрального с коэффициентом передачи $\frac{k_p}{T_i}$. Таким образом, в ПИ-регуляторе совмещены свойства пропорционального (статического) и интегрального (астатического) регуляторов.

При скачкообразном изменении регулируемой величины от 0 до x_0 идеальный ПИ-регулятор своей пропорциональной частью сначала мгновенно перемещает регулирующий

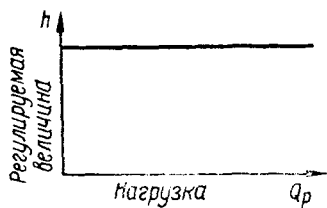


Рис. 139. Статическая характеристика системы интегрального регулирования уровня.

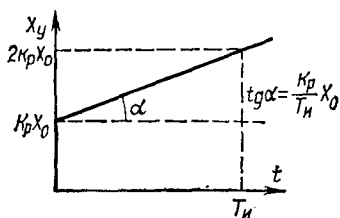


Рис. 140. Переходная характеристика ПИ-регулятора.

орган на величину $k_p x_0$, затем интегральная часть регулятора дополнительно перемещает регулирующий орган в ту же сторону со скоростью $\frac{k_p}{T_i} x_0$ (рис. 140).

По переходной характеристике регулятора легко установить, что время изодрома T_i численно равно тому отрезку, в течение которого первоначальное значение управляющего воздействия регулятора удваивается вследствие действия одной только его интегральной части.

Интегральная часть регулятора делает систему пропорционально-интегрального регулирования астатической. При беспредельном увеличении времени изодрома T_i ПИ-регулятор превращается в П-регулятор. Если установить очень малые значения k_p и T_i , но так, чтобы их отношение $\frac{k_p}{T_i}$ имело существенную величину, то регулятор окажется интегральным.

Пропорционально-интегрально-дифференциальное регулирование. ПИД-регуляторы воздействуют на регулирующий орган пропорционально отклонению регулируемой величины, интегралу этого отклонения и скорости изменения

регулируемой величины:

$$x_y = k_p \left(x + \frac{1}{T_{\text{и}}} \int x dt + T_{\text{пр}} \frac{dx}{dt} \right). \quad (94)$$

Передаточная функция ПИД-регулятора

$$W_{\text{ПИД}}(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{\text{и}}p} + T_{\text{пр}}p \right). \quad (95)$$

Постоянная времени $T_{\text{пр}}$ характеризует степень влияния составляющей скорости изменения регулируемой величины на закон регулирования и называется временем предварения.

В динамическом отношении ПИД-регулятор эквивалентен системе из трех параллельно соединенных звеньев: безынерционного, интегрирующего и идеального дифференцирующего. При скачкообразном изменении регулируемой величины идеальный ПИД-регулятор в начальный момент оказывает своей дифференциальной частью бесконечно большее воздействие на регулируемый орган; затем величина управляющего воздействия мгновенно уменьшается до значения, определяемого пропорциональной частью регулятора, после чего вступает в действие интегральная часть регулятора (рис. 141).

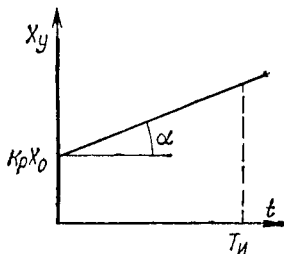


Рис. 141. Переходная характеристика ПИД-регулятора.

Таким образом, отличительной особенностью ПИД-регулятора является наличие производной в законе регулирования, что заставляет регулируемый орган перемещаться с некоторым временным опережением (предварением), возрастающим с увеличением скорости изменения регулируемой величины. Когда отклонение регулируемой величины в результате компенсирующего действия регулятора начинает уменьшаться, знак производной в законе регулирования изменяется на противоположный, и управляющее воздействие уменьшается. Это позволяет существенно уменьшить возможные колебания регулируемой величины в переходном процессе и таким образом улучшить динамические свойства системы.

Отметим, что в реальных системах управляющее воздействие не может быть бесконечно большим из-за инерционности отдельных элементов ПИД-регулятора. К тому же,

из-за инерционности объекта регулирования регулируемая величина не может изменяться скачкообразно при любых возмущающих воздействиях.

Наличие интегральной части делает систему с ПИД-регулятором астатической.

По возможностям настройки ПИД-регулятор является наиболее универсальным: с его помощью можно осуществлять различные законы регулирования. Так, при $T_{пр} = 0$ получаем ПИ-регулятор, который, в свою очередь, можно соответствующим подбором значений k_p и T_i преобразовать либо в П-, либо в И-регулятор.

Для автоматизации процессов трикотажной промышленности применяются как регуляторы общепромышленного назначения, так и специальные. Применение специальных регуляторов обусловлено спецификой некоторых процессов трикотажного производства.

Регуляторы общепромышленного назначения разнообразны по схемам и конструкциям. Наибольшее распространение получили электрические и пневматические регуляторы.

Серийно выпускаются приборы, входящие в электронную систему автоматического регулирования Московского завода тепловой автоматики (МЗТА); унифицированную электронную систему автоматического контроля, сигнализации и регулирования (УСАКР); агрегатную унифицированную систему (АУС); электронную агрегатную унифицированную систему (ЭАУС); универсальную систему элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) и т. д.

В настоящее время ведутся работы по созданию Государственной системы приборов (ГСП), объединяющей пневматические, электрические и гидравлические устройства.

Рассмотрим работу некоторых наиболее характерных регуляторов общепромышленного назначения, широко применяемых при автоматизации технологических процессов.

Регуляторы серии РПИК. Электронные регулирующие приборы серии РПИК входят в систему МЗТА. Они работают в комплекте с исполнительными механизмами, имеющими постоянную скорость вращения.

Функциональная блок-схема регулятора приведена на рис. 142, а. Регулирующий прибор состоит из измерительного ИБ и электронного ЭБ блоков, смонтированных в общем корпусе. Измерительные блоки имеют несколько моди-

фикаций в зависимости от типа и количества применяемых датчиков. Они служат для предварительного усиления и преобразования сигнала $x_{вх}$, полученного путем сравнения сигналов x с выхода датчика D и $x_з$ с выхода задающего устройства $ЗУ$. Напряжение постоянного тока U_n с выхода измерительного блока подается на вход электронного блока. В динамическом отношении измерительный блок является

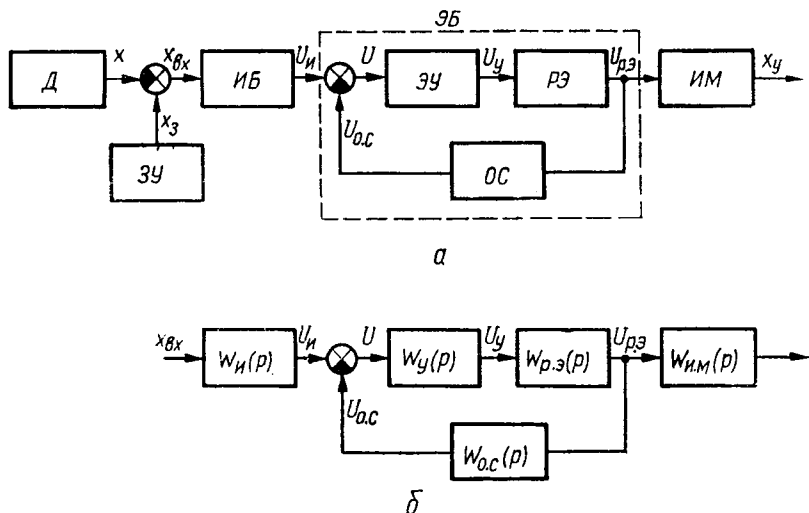


Рис. 142. Регулятор с регулирующим прибором серии РПИК:
а — функциональная блок-схема; б — структурная схема.

безынерционным звеном с передаточной функцией

$$W_n(p) = \frac{U_n(p)}{x_{вх}(p)} = k_n. \quad (96)$$

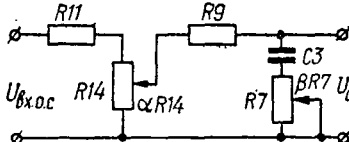
Электронный блок содержит электронный усилитель $ЭУ$, управляющий работой релейного элемента $РЭ$. Релейный элемент состоит из двух электромагнитных реле, каждое из которых срабатывает при определенной полярности сигнала U_n и своими контактами подает напряжение к электродвигателю исполнительного механизма $ИМ$ и устройству обратной связи $ОС$. Электронный усилитель с коэффициентом усиления k_y является безынерционным звеном и имеет передаточную функцию

$$W_y(p) = \frac{U_y(p)}{U(p)} = k_y. \quad (97)$$

Релейный элемент относится к числу нелинейных элементов. К таким элементам применим метод гармонической линеаризации, в результате которой можно приближенно получить выражение для передаточной функции

$$W_{p.э}(p) = \frac{U_{p.э}(p)}{U_y(p)} = k_H. \quad (98)$$

Схема устройства обратной связи ОС прибора приведена на рис. 143. Выразив зависимость напряжения $U_{o.c}(p)$ от напряжения $U_{вх.о.с}(p)$, получим передаточную функцию устройства обратной связи



$$W_{o.c}(p) = k_{o.c} \frac{T_{пp} p + 1}{T_{нp} p + 1}, \quad (99)$$

где

$$k_{o.c} = \frac{\alpha R_{14}}{R_{11} + R_{14}};$$

Рис. 143. Схема цепи обратной связи прибора РПИК.

$$T_{п} = \beta R_7 C_3;$$

$$T_{н} = C_3 \left(\beta R_7 + R_9 + \alpha R_{14} - \frac{\alpha^2 R_{14}^2}{R_{11} + R_{14}} \right);$$

α и β — степени перемещения движков потенциометров R_{14} и R_7 .

Исполнительный механизм является интегрирующим звеном и имеет передаточную функцию

$$W_{н.м}(p) = \frac{1}{T_{н.м} p}, \quad (100)$$

где $T_{н.м}$ — время исполнительного механизма (время полного перемещения регулирующего органа).

Передаточная функция регулятора в соответствии с его структурной схемой (рис. 142, б) имеет вид

$$W_p(p) = \frac{W_{н}(p) W_y(p) W_{p.э}(p) W_{н.м}(p)}{1 + W_y(p) W_{p.э}(p) W_{o.c}(p)}.$$

Подставляя значения передаточных функций из формул (96) — (100), получим

$$W_p(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{нp} p} \right) \frac{1}{T_{\sigma} p + 1}, \quad (101)$$

где

$$k_p = \frac{k_H k_y k_H T_{н}}{(1 + k_y k_H k_{o.c}) T_{н.м}};$$

$$T_{\sigma} = \frac{T_{н} + k_y k_H k_{o.c} T_{н}}{1 + k_y k_H k_{o.c}}.$$

Из сравнения формул (101) и (93) видно, что в динамическом отношении рассматриваемый регулятор представляет собой последовательное соединение идеального ПИ-регулятора и балластного апериодического звена первого порядка с постоянной времени T_6 . Поэтому реальная переходная характеристика такого регулятора отличается от идеальной (рис. 140) и имеет вид, показанный на рис. 144.

Чем больше постоянная времени балластного звена, тем больше погрешность, вносимая им в идеальный пропорционально-интегральный закон регулирования, и тем медленнее протекают переходные процессы в системе.

На рис. 145 представлена принципиальная электрическая схема измерительного блока И-С-62, работающего в комплекте с одним проволочным терморезистором R_T . Заданное

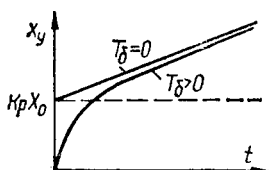


Рис. 144. Переходная характеристика регулятора с регулирующим прибором РПИК.

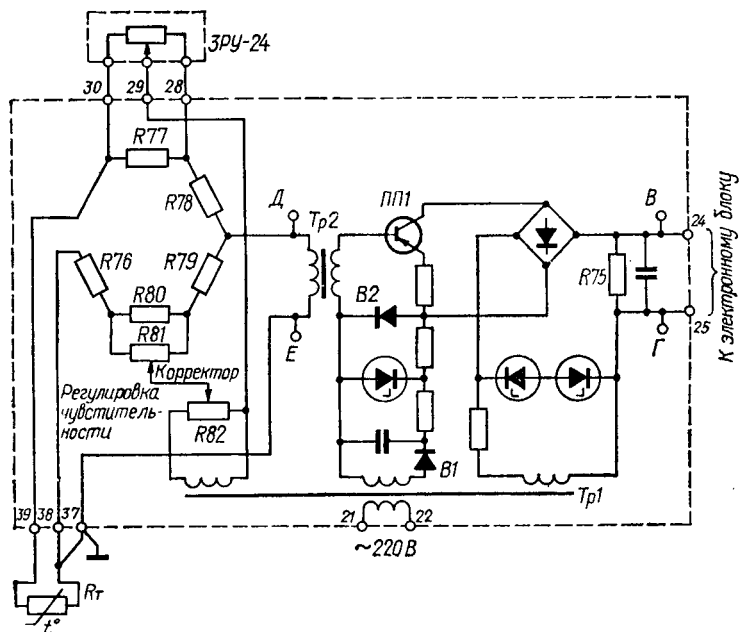


Рис. 145. Принципиальная электрическая схема измерительного блока И-С-62.

значение регулируемой температуры устанавливается задатчиком ЗРУ-24, сопротивление которого включено в одно из плеч измерительного моста переменного тока. Терморезистор R_T включается в другое плечо моста. Напряжение питания моста устанавливается с помощью потенциометра $R82$ («регулировка чувствительности»); балансировка моста осуществляется «корректором» (потенциометр $R81$).

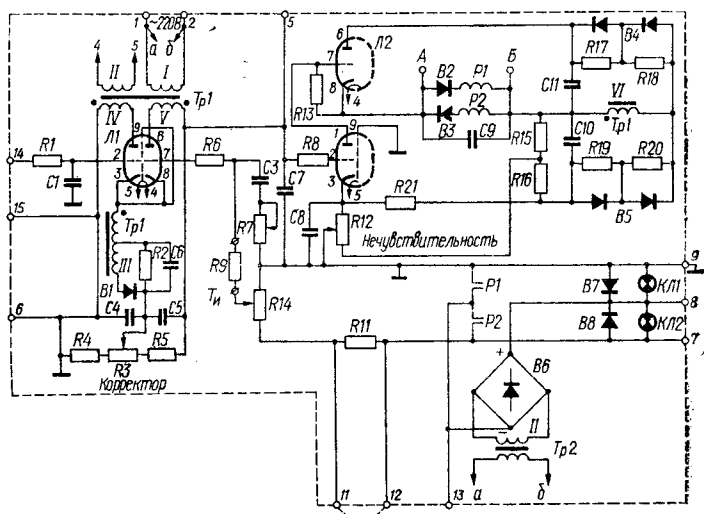


Рис. 146. Принципиальная электрическая схема электронного блока ЭР-62.

При отклонении температуры от заданного значения сигнал разбаланса мостовой схемы через трансформатор $Tr2$ поступает на вход фазочувствительного усилителя, выполненного на транзисторе $ПП1$. Так как в каждый полупериод коллекторный ток через транзистор проходит в одном направлении, то в течение положительного полупериода входного сигнала ток транзистора будет уменьшаться, а в течение отрицательного полупериода — увеличиваться. При этом на нагрузке усилителя ($R75$) возникнет падение напряжения постоянного тока, полярность которого определяется знаком отклонения температуры. Для стабилизации рабочей точки на базу транзистора $ПП1$ подается постоянное напряжение с диода $B2$.

На рис. 146 приведена принципиальная электрическая схема электронного блока ЭР-62 из серии РПИК. С выхода

измерительного блока сигнал подается на клеммы 14-15 и через фильтр, образованный сопротивлением $R1$ и емкостью $C1$, поступает на вход катодного повторителя, собранного на левой половине двойного триода лампы $L1$. Напряжение с катодной нагрузки ($R4$ и часть $R3$) подается на сетку правого триода лампы $L1$, который работает в режиме обычного усилителя напряжения.

Оба указанных каскада образуют балансный усилитель напряжения. При отсутствии входного сигнала напряжения на сетках обоих триодов равны между собой, анодные токи равны и напряжение на выходе этого каскада равно нулю.

Отрицательное смещение на сетки лампы $L1$ подается от вторичной обмотки III трансформатора $Tr1$ через вентиль $B1$. Кроме постоянного смещения от части этой же обмотки на сетки подается небольшое переменное напряжение в фазе с переменным анодным напряжением. Это позволяет уменьшить сеточные токи ламп в нерабочие полупериоды благодаря дополнительному отрицательному смещению на сетках.

При поступлении входного сигнала нарушается равновесие балансного усилителя и через сопротивление $R8$ напряжение той или иной полярности подается на вход усилителя мощности. Усилитель мощности собран на двойном триоде лампы $L2$ по схеме баланса токов.

Нагрузкой усилителя мощности являются обмотки реле $P1$ и $P2$. Ток, протекающий через обмотки реле, равен разности анодных токов триодов лампы $L2$. Селективность срабатывания реле в зависимости от направления разностного тока обеспечивается вентилями $B2$ и $B3$.

При срабатывании любого из указанных реле через замыкающие контакты $P1$ или $P2$ напряжение соответствующей полярности подается к двигателю исполнительного механизма (или к пусковому устройству), подключаемому к клеммам 7, 8 и 9. Исполнительный механизм начинает воздействовать на регулирующий орган объекта в направлении восстановления заданного значения регулируемой величины. Одновременно подается напряжение постоянного тока на вход цепи обратной связи: ток от выпрямителя $B6$ проходит через лампу $KL1$ (или $KL2$), сопротивления $R14$, $R11$ и контакт реле $P2$ (или $P1$). Напряжение выхода цепи обратной связи $U_{o.o}$ (см. рис. 143) приложено к сетке правого триода лампы $L1$ навстречу действию основного входного сигнала. По мере заряда емкости $C3$ напряжение $U_{o.o}$

возрастает, и в момент, когда это напряжение уравнивает действие входного сигнала, реле $P1$ или $P2$ отпустит, емкость $C3$ начнет разряжаться, а исполнительный механизм остановится.

Если после остановки исполнительного механизма, обусловленной действием цепи обратной связи, окажется, что перемещение регулирующего органа было недостаточным для устранения ошибки регулирования, то в результате разрядки емкости $C3$ вновь возникнет разбаланс усилителей напряжения и мощности, после чего произойдет повторное включение реле и исполнительного механизма.

Графики изменений напряжений $U_{o.o.}$, U_y , $U_{p.э}$ и управляющего воздействия x_y при ступенчатом изменении воздействия $x_{вх}$ на входе регулятора показаны на рис. 147. Ступенчатое входное воздействие, усиленное усилителями измерительного и электронного блоков, вызывает срабатывание реле. Реле подключает цепь обратной связи. В первый момент сопротивление емкости $C3$ равно нулю и напряжение на выходе цепи обратной связи равно падению напряжения на сопротивлении $R7$. Затем напряжение $U_{o.o.}$ нарастает по экспоненциальному закону, а напряжение на выходе усилителя U_y соответственно уменьшается. Исполнительный механизм при этом перемещает регулирующий орган с постоянной скоростью. Когда напряжение U_y понизится до напряжения отпускания реле $U_{y.от}$, реле отпустит, отключится цепь обратной связи и остановится исполнительный механизм. С этого момента емкость $C3$ начнет разряжаться и напряжение $U_{o.o.}$ станет уменьшаться по

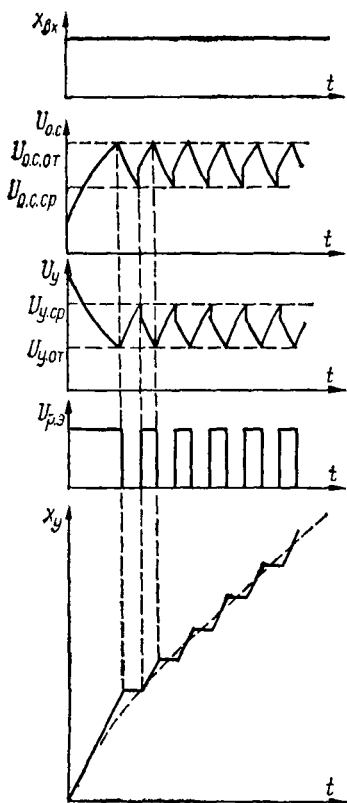


Рис. 147. Графики, поясняющие работу регулятора серии РПИК.

выходе усилителя U_y соответственно уменьшается. Исполнительный механизм при этом перемещает регулирующий орган с постоянной скоростью. Когда напряжение U_y понизится до напряжения отпускания реле $U_{y.от}$, реле отпустит, отключится цепь обратной связи и остановится исполнительный механизм. С этого момента емкость $C3$ начнет разряжаться и напряжение $U_{o.o.}$ станет уменьшаться по

экспоненциальному закону, что вызовет соответствующее увеличение напряжения U_y . В момент, когда $U_y = U_{y.cр}$, реле опять срабатывает, включает исполнительный механизм и цепь обратной связи и т. д.

Когда исполнительный механизм включается импульсами, длительность которых можно изменять перемещением движка потенциометра $R7$, возникает пульсирующий (скользящий) режим работы регулятора. При сравнительно частых и кратковременных включениях исполнительного механизма регулятор приобретает свойства, близкие к свойствам линейного регулятора.

При отключенной цепи обратной связи регулятор осуществляет интегральный закон регулирования.

Электронные регулирующие приборы серии РПИБ и электронные корректирующие приборы серии КПИ имеют такие же структурные схемы и динамические характеристики, как и приборы РПИК.

Регулирующий прибор РУ4-16А. Основным регулирующим устройством системы УСАКР является прибор типа РУ4-16А. Этот прибор не имеет измерительного блока и применяется в комплекте с электронными автоматическими потенциометрами и мостами, имеющими встроенный реостатный задатчик, а исполнительный механизм должен иметь встроенный реостат обратной связи.

Принципиальная электрическая схема регулятора с прибором РУ4-16А показана на рис. 148.

Собственно прибор РУ4-16А содержит электронный усилитель $\mathcal{E}У$, два выходных реле $P1$ и $P2$, а также цепочку отрицательной обратной связи. На вход прибора РУ4-16А поступает напряжение постоянного тока $U_{вх}$ с измерительного прибора $ИП$, где заданное значение регулируемой величины определяется положением движка $\mathcal{Z}д$ реостатного задатчика $R33$, а фактическое значение — положением связанного с показывающей стрелкой движка $Изм$ этого же реостата.

При отклонении регулируемой величины от заданного значения напряжение $U_{вх}$, пропорциональное этому отклонению, усиливается электронным фазочувствительным усилителем, в результате чего срабатывает выходное реле $P1$ или $P2$. Выходное реле включает двигатель $Дв$ исполнительного механизма $ИМ$, который воздействует на регулирующий орган объекта в сторону восстановления заданного значения регулируемой величины. Одновременно двигатель

дят только активные сопротивления, то первое звено является безынерционным с передаточной функцией $W_1(p) = k_{o.c.}$ Второе звено представляет собой электрическую цепь из сопротивлений R_1, R_5 и емкостей C_1, C_2 . Выразив зависимость напряжения $U_{o.c.}(p)$ на выходе этого звена

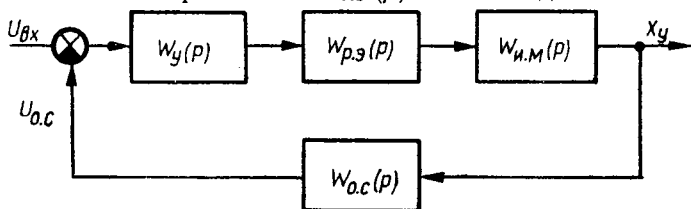


Рис. 149. Структурная схема регулятора с прибором РУ4-16А.

от входного напряжения $U_{вх.o.c.}(p)$, получим передаточную функцию

$$W_2(p) = \frac{R_1 C_1 p}{R_1 R_5 C_1 C_2 p^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_5 C_2) p + 1},$$

откуда передаточная функция всего устройства обратной связи

$$W_{o.c.}(p) = \frac{k_{o.c.} R_1 C_1 p}{R_1 R_5 C_1 C_2 p^2 + (R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_5 C_2) p + 1}. \quad (102)$$

Передаточная функция регулятора в соответствии с его структурной схемой (рис. 149) имеет вид

$$W(p) = \frac{W_y(p) W_{p,э}(p) W_{и,м}(p)}{1 + W_y(p) W_{p,э}(p) W_{и,м}(p) W_{o.c.}(p)}.$$

Подставляя значения передаточных функций отдельных звеньев, получим

$$W(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{ип} p} + T_{пр} p \right) \frac{1}{T_{\sigma_2}^2 p^2 + T_{\sigma_1} p + 1}, \quad (103)$$

где

$$k_p = \frac{k_y k_H T_{и}}{T_{и,м} + k_y k_H k_{o.c.} R_1 C_1};$$

$$T_{и} = R_1 C_1 + R_1 C_2 + R_5 C_2;$$

$$T_{пр} = \frac{R_1 R_5 C_1 C_2}{T_{и}};$$

$$T_{\sigma_2}^2 = \frac{T_{и,м} R_1 R_5 C_1 C_2}{T_{и,м} + k_y k_H k_{o.c.} R_1 C_1};$$

$$T_{\sigma_1} = \frac{T_{и} T_{и,м}}{T_{и,м} + k_y k_H k_{o.c.} R_1 C_1}.$$

Таким образом, регулятор осуществляет ПИД-закон регулирования с некоторой погрешностью, определяемой инерционностью последовательно включенного звена второго порядка. Переходная характеристика такого регулятора отличается от идеальной и имеет вид, показанный на рис. 150. Произведя переключения в цепи обратной связи прибора, можно получать и другие законы регулирования. При отсоединении емкости C_2 (при $C_2 = 0$) регулятор становится пропорционально-интегральным и имеет передаточную функцию

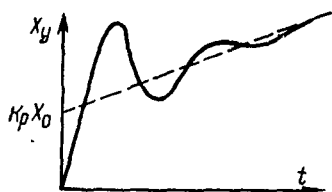


Рис. 150. Переходная характеристика регулятора с прибором РУ4-16А.

$$W(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_{ин} p} \right) \frac{1}{T_0 p + 1}, \quad (104)$$

где

$$k_p = \frac{k_y k_H R_1 C_1}{T_{и.м} + k_y k_H k_{о.с} R_1 C_1};$$

$$T_{ин} = R_1 C_1;$$

$$T_0 = \frac{T_{и.м} R_1 C_1}{T_{и.м} + k_y k_H k_{о.с} R_1 C_1}.$$

Если при $C_2 = 0$ дополнительно замкнуть емкость C_1 (т. е. $C_1 = \infty$), то получим П-регулятор с передаточной функцией

$$W(p) = k_p \frac{1}{T_0 p + 1}, \quad (105)$$

где

$$k_p = \frac{1}{k_{о.с}}; \quad T_0 = \frac{T_{и.м}}{k_y k_H k_{о.с}}.$$

Если отключить цепь обратной связи, то регулятор будет осуществлять интегральный закон регулирования

$$W(p) = \frac{k_p}{p}, \quad (106)$$

где

$$k_p = \frac{k_y k_H}{T_{и.м}}.$$

Регулирующий блок ПРЗ.6. Для регулирования давления, расхода, уровня, температуры и других технологических параметров широко применяются пневматические регуляторы системы АСУ. Агрегатный принцип построения этой системы и унификация входных и выходных параметров позволяют из небольшого числа взаимосочетаемых блоков компоновать различные системы регулирования.

Давление на выходе датчиков изменяется в пределах $0,2—1,0 \text{ кгс/см}^2$. В таких же пределах изменяется давление на выходе регулирующих блоков для управления исполнительными механизмами. Конструктивно блоки выполнены в виде цилиндров диаметром 70 мм , состоящих из набора шайб, которые стянуты между собой шпильками и гайками. Шайбы отделены друг от друга гибкими мембранами, образующими внутренние камеры блоков. Для сообщения между камерами имеются специальные каналы. Принципиальная схема регулирующего блока ПРЗ.6 приведена на рис. 151.

В камеру *Е* от измерительного блока подводится давление, пропорциональное отклонению регулируемой величины. Заданное значение регулируемой величины определяется давлением в камере *Ж*, соединенной с задатчиком. Камеры *Е* и *Ж* разделены гибкими мембранами *15*, *14*, *13*, *12* и *11*. Эти мембраны соединены общим стержнем *2*, нижний конец которого служит заслонкой сопла *16*. В случае равенства давлений в камерах *Е* и *Ж* блок находится в равновесии, обеспечивая определенное выходное давление, подаваемое к исполнительному механизму. При отклонении регулируемой величины от заданного значения в камерах *Е* и *Ж* возникает разность давлений, что вызывает перемещение стержня *2* и изменение давления в камере *Г*, в которую через дроссель *1* постоянного сечения подводится давление питания ($1,4 \text{ кгс/см}^2$). В зависимости от давления в камере *Г* вместе с гибкими мембранами *18* и *17* перемещается сопло *19*, управляющее шариковым клапаном *21*, который пружиной *22* прижимается к седлу клапана. При этом устанавливается определенное давление в камере *Б*, в которую через камеру *А* поступает сжатый воздух из линии питания. Из камеры *Б* воздух перетекает в камеру *О*, а затем через сопло *6* и камеру *Н* — к исполнительному механизму. Сопло *19* имеет два взаимно перпендикулярных отверстия для вывода воздуха в камеру *В*, сообщающуюся с атмосферой. При падении давления в камере *Г* сопло *19*

сие блока наступает при наличии остаточной разности давлений в камерах *Е* и *Ж*, т. е. имеется статическая ошибка регулирования. При открытом дросселе *10* изменение давления в камере *К* воздействует на стержень *2* в направлении, противоположном действию отрицательной обратной связи, что приводит к уменьшению статической ошибки регулирования. Причем, давление в камере *К* всегда меньше, чем давление в камере *Д*, и зависит от степени открытия дросселя *10*. Таким образом, изменением давления в камере *К* с помощью дросселя *10* можно изменять коэффициент передачи регулирующего блока.

Для устранения статической ошибки регулирования в блоке ПРЗ.6 предусмотрено дополнительное воздействие на положительную обратную связь. С этой целью через дроссель *5* подается выходное давление в камеру сравнительно большой емкости *М*, ограниченную снизу мембраной *8*. Последняя управляет соплом *9*, расположенным в камере *Л*, в которую поступает воздух из линии питания через постоянный дроссель *4*. Через дроссель постоянного сечения *3* камера *Л* соединена также с камерой *К*. При полностью или частично открытом дросселе *5* давление в камере *М* постепенно становится равным выходному давлению блока. Это давление повторяется и в камере *Л*, и в камере *К*. Действие отрицательной обратной связи постепенно снимается действием положительной обратной связи, так как давление в камере *К* становится равным давлению в камере *Д*.

Таким образом, при появлении сигнала рассогласования на входе регулирующего блока управляющее воздействие вначале принимает значение, пропорциональное отклонению регулируемой величины, а затем это воздействие постепенно увеличивается со скоростью, пропорциональной отклонению и степени открытия дросселя *5*. Управляющее воздействие принимает установившееся значение лишь при отсутствии отклонения регулируемой величины. Иными словами, регулирующий блок ПРЗ.6 осуществляет ПИ-закон регулирования.

Для отключения регулирующего блока подается давление в камеру *П*. В результате мембрана *7* закрывает сопло *6*, отключая поступление воздуха на выход блока.

Блок предварения ПФ2.3. Для введения производной в закон регулирования в регуляторах системы АУС используется блок предварения ПФ2.3 (рис. 152). Камеры *А*, *Б*, *В* и *Г* этого блока по назначению и принципу действия

идентичны соответствующим камерам блока ПРЗ.6. Камеры *Е*, *Ж* и *К*, разделенные гибкими мембранами 2, 3, 6 и 7, выполняют функцию дифференцирования.

В камеру *Е* поступает входной сигнал от регулирующего блока или датчика. Если входной сигнал не изменяется, то блок находится в равновесии, и давления в камерах *Б*, *Д*, *Е*, *Ж* и *К* равны, т. е. выходное давление блока равно входному. Если давление в камере *Е* начинает изменяться, то равновесие нарушается, и заслонка стержня 5 перемещается

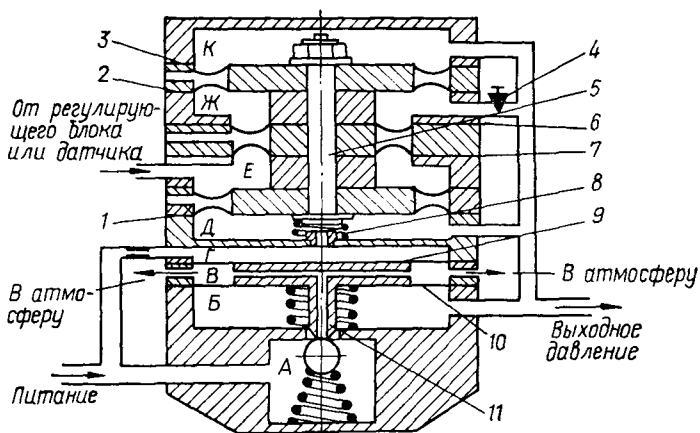


Рис. 152. Принципиальная схема блока предварения ПФ2.3.

относительно сопла 8. Это вызывает изменение давления в камере *Г* и перемещение мембран 9 и 10 вместе с соплом 11, вследствие чего изменяется давление в камере *Б* и на выходе блока. Это же давление поступает в камеры *Д*, *К* и через регулируемый дроссель 4 — в камеру *Ж*. Так как эффективная площадь мембраны 1 лишь ненамного превышает эффективную площадь мембраны 3, а давления в камерах *Д* и *К* равны, то уравновесить изменившееся давление в камере *Е* можно только изменением давления в камере *Ж*. Поскольку давление в камере *Ж* выравнивается с давлением в камере *Е* постепенно в течение некоторого времени, зависящего от настройки дросселя 4 и скорости изменения давления на выходе блока, то сразу же после изменения входного сигнала изменение выходного давления становится максимальным и лишь спустя определенный промежуток времени выходное и входное давления выравнива-

ются. Таким образом, при изменении входного воздействия выходное воздействие изменяется с опережением. Величина опережения тем больше, чем больше скорость изменения входного давления и чем меньше открыт дроссель 4.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ТИПА РЕГУЛЯТОРА И ЕГО НАСТРОЕК

Для получения требуемой статической и динамической точности регулирования должен быть выбран закон регулирования регулятора и определены параметры его настройки применительно к динамическим свойствам объекта. Из числа промышленных регуляторов выбирают простейший по закону регулирования, а следовательно, наиболее дешевый и простой в эксплуатации регулятор, который позволяет обеспечить на данном объекте необходимое качество регулирования. Расчеты параметров настройки регулятора подробно рассмотрены в специальной литературе.

Для выбора закона регулирования и приближенного расчета настроек регулятора необходимо знать параметры объекта: постоянную времени $T_{об}$, коэффициент передачи $k_{об}$, время запаздывания τ . Эти параметры могут быть определены аналитически или по экспериментально снятой переходной характеристике объекта.

Сложные объекты, описываемые уравнениями второго и более высоких порядков, с достаточной для практики точностью рассматриваются как объекты первого порядка, обладающие чистым запаздыванием (см. рис. 115).

Тип регулятора по роду действия (непрерывный, релейный или импульсный) можно ориентировочно выбрать по величине отношения времени запаздывания к постоянной времени объекта $\tau/T_{об}$:

Импульсный	$\tau/T_{об} > 1,0$
Релейный	$0 < \tau/T_{об} < 0,2$
Непрерывного действия	$0,2 < \tau/T_{об} < 1$

Необходимо также учитывать свойства объектов, для которых приемлемы регуляторы.

И-регулятор можно применять только для объектов, обладающих значительным самовыравниванием;

П, ПИ- и ПИД-регуляторы можно применять для объектов как с самовыравниванием, так и без самовыравнивания.

При применении П-регулятора возможна статическая ошибка регулирования, величина которой зависит от величины возмущения, настройки регулятора и от точки приложения возмущения.

И, ПИ- и ПИД-регуляторы обеспечивают регулирование без статической ошибки.

Динамическая ошибка регулирования (максимальное отклонение регулируемой величины) всегда имеет наибольшее значение в случае применения И-регулятора и значительно уменьшается в случае П и ПИ-регуляторов. Наименьшая динамическая ошибка получается при использовании ПИД-регулятора. С увеличением $\tau/T_{об}$ динамическая ошибка для одного и того же закона регулирования возрастает. Поэтому, чтобы обеспечить достаточную динамическую точность регулирования при увеличении отношения $\tau/T_{об}$, приходится применять все более сложные регуляторы.

Минимальное время регулирования может быть получено при установке П и ПИД-регуляторов. Время регулирования для ПИ-регуляторов примерно вдвое больше, чем для П-регулятора. Наибольшее время регулирования получается в системах с И-регуляторами.

Указанные сведения позволяют для конкретного объекта ориентировочно выбрать закон регулирования. Затем определяют параметры настройки регулятора, исходя из требований к переходной характеристике системы. В зависимости от технологических требований к протеканию процесса, величины и характера входных возмущающих воздействий наилучшими могут быть признаны различные по своему характеру переходные процессы регулирования.

В общем случае рекомендуются три основных типовых процесса регулирования: апериодический с минимальным временем регулирования; с 20%-ным перерегулированием; с минимальной квадратичной площадью отклонения, т. е.

$$\int_0^{\infty} x^2 dt = \min.$$

Апериодический процесс характеризуется отсутствием перерегулирования и минимальным перемещением регулирующего органа. При 20%-ном перерегулировании в статической системе максимальное отклонение регулируемой величины на 20% превышает отклонение регулируемой величины в установившемся режиме; в астатической системе

Формулы для определения настроек регуляторов непрерывного действия для объектов с самовыравниванием

Закон регулирования	Типовой процесс регулирования		
	Апериодический	G 20%-ным перерегулированием	$C \min \int_0^{\infty} x^2 dt$
П	$k_p = \frac{0,3T_{об}}{k_{об}\tau}$	$k_p = \frac{0,7T_{об}}{k_{об}\tau}$	$k_p = \frac{0,9T_{об}}{k_{об}\tau}$
И	$k_p = \frac{1}{4,5k_{об}T_{об}}$	$k_p = \frac{1}{1,7k_{об}T_{об}}$	$k_p = \frac{1}{1,7k_{об}\tau}$
ПИ	$k_p = \frac{0,6T_{об}}{k_{об}\tau}$ $T_H = 0,8 \tau + 0,5 T_{об}$	$k_p = \frac{0,7T_{об}}{k_{об}\tau}$ $T_H = \tau + 0,3 T_{об}$	$k_p = \frac{T_{об}}{k_{об}\tau}$ $T_H = \tau + 0,35 T_{об}$
ПИД	$k_p = \frac{0,95T_{об}}{k_{об}\tau}$ $T_H = 2,4\tau$ $T_{пр} = 0,4\tau$	$k_p = \frac{1,2T_{об}}{k_{об}\tau}$ $T_H = 2,0\tau$ $T_{пр} = 0,4\tau$	$k_p = \frac{1,4T_{об}}{k_{об}\tau}$ $T_H = 1,3\tau$ $T_{пр} = 0,5\tau$

Таблица 4

Формулы для определения настроек регуляторов непрерывного действия для объектов без самовыравнивания

Закон регулирования	Типовой процесс регулирования		
	Апериодический	С 20%-ным перерегулированием	С $\min \int_0^{\infty} x^2 dt$
П	$k_p = \frac{0,4T_y}{\tau}$	$k_p = \frac{0,7T_y}{\tau}$	—
ПИ	$k_p = \frac{0,4T_y}{\tau}$ $T_n = 6\tau$	$k_p = \frac{0,7T_y}{\tau}$ $T_n = 3\tau$	$k_p = \frac{T_y}{\tau}$ $T_n = 4\tau$
ПИД	$k_p = \frac{0,6T_y}{\tau}$ $T_n = 5\tau$ $T_{np} = 0,2\tau$	$k_p = \frac{1,1T_y}{\tau}$ $T_n = 2\tau$ $T_{np} = 0,4\tau$	$k_p = \frac{1,4T_y}{\tau}$ $T_n = 1,6\tau$ $T_{np} = 0,5\tau$

второе противоположно направленное отклонение амплитуды колебаний составляет 20% от максимальной амплитуды первого отклонения.

Процесс с $\min \int_0^{\infty} x^2 dt$ характеризуется наибольшими перерегулированием (до 40—50%) и временем регулирования.

Приближенные значения параметров настройки регуляторов могут быть подсчитаны по формулам, приведенным в табл. 3 и 4.

Параметры объектов и регуляторов имеют следующие размерности:

$$k_{об} = \frac{\text{единица измерения регулируемой величины}}{\% \text{ хода регулирующего органа}} ;$$

$$T_{об} = \text{сек}; \quad \tau = \text{сек};$$

$$k_p = \frac{\% \text{ хода регулирующего органа}}{\text{единица измерения регулируемой величины}} ;$$

$$T_n = \text{сек}; \quad T_{пр} = \text{сек}.$$

Для объектов без самовыравнивания используют условную постоянную времени T_y , имеющую размерность

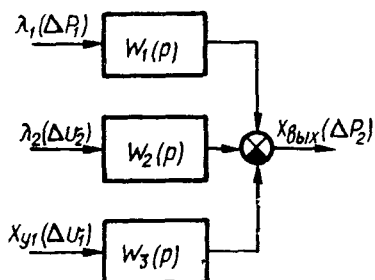
$$T_y = \frac{\text{сек} \cdot \% \text{ хода регулирующего органа}}{\text{единица измерения регулируемой величины}} .$$

Рассчитанные по приведенным формулам значения параметров настройки регулятора вследствие упрощений при определении параметров объектов могут отличаться от значений, обеспечивающих желаемое качество регулирования. Поэтому в процессе наладки и эксплуатации системы значения параметров настройки могут быть уточнены экспериментальным путем.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НИТЕПОДАЧИ НА ТРИКОТАЖНЫХ МАШИНАХ

Нитеподающие устройства трикотажных машин должны обеспечивать подачу нитей к вяжущим органам в таком количестве, которое соответствует потребности для образования петли, и одновременно поддерживать постоянство натяжения нитей. Поэтому в соответствии с выполняемыми функциями механизмы нитеподдачи являются автоматическими регуляторами.

Наиболее широко используется автоматическое регулирование нитеподдачи в основовязальных машинах. В качестве регулируемых величин здесь могут быть приняты либо поступательная скорость v схода нитей с навоя, либо натяжение P нитей. Следует отметить, что натяжение нитей зависит от скорости подачи основы. Однако на ряде существующих основовязальных машин осуществляется автоматическое регулирование натяжения нитей путем измене-



ния их подачи, а на ряде других стабилизируется линейная скорость сходящих с навоя нитей независимо от их натяжения. В первом случае величины P и v системы автоматического регулирования являются взаимозависимыми, а во втором — величина натяжения P зависит от скорости подачи v , которая при этом представляет собой независимую величину.

Рис. 153. Структурная схема объекта регулирования при активной нитеподдаче с нитенатяжным устройством.

В качестве регулируемой величины примем натяжение нитей основы, поскольку именно оно при вязании определяет качество трикотажного полотна.

В настоящее время на основовязальных машинах преимущественно применяется активная нитеподдача. Объект регулирования с нитенатяжным устройством типа скало при этом описывается уравнением (68). В соответствии с этим уравнением структурная схема объекта принимает вид, показанный на рис. 153. Здесь $W_1(p)$, $W_2(p)$ и $W_3(p)$ — передаточные функции объекта относительно возмущающих и управляющего воздействий:

$$W_1(p) = \frac{k_1 (T_{10}^2 p^2 + T_{11} p + 1)}{T_7^3 p^3 + T_8^2 p^2 + T_9 p + 1};$$

$$W_2(p) = \frac{k_2 (T_{10}^2 p^2 + T_{11} p + 1)}{T_7^3 p^3 + T_8^2 p^2 + T_9 p + 1};$$

$$W_3(p) = \frac{k_3 (T_{10}^2 p^2 + T_{11} p + 1)}{T_7^3 p^3 + T_8^2 p^2 + T_9 p + 1}.$$

Анализируя работу механизмов подачи основы на существующих конструкциях основязальных машин, можно установить, что с точки зрения принципов регулирования все они могут быть представлены тремя разновидностями: 1) системы автоматического регулирования линейной скорости нитей по возмущению; 2) системы автоматического регулирования линейной скорости нитей по отклонению и 3) системы автоматического регулирования натяжения нитей по отклонению.

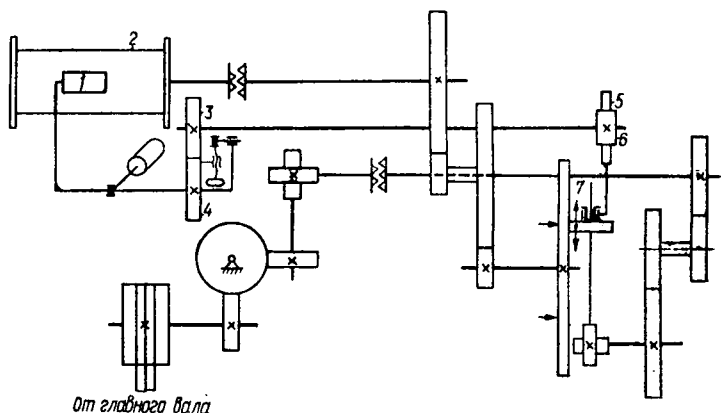


Рис. 154. Кинематическая схема механизма подачи основы машины СК-54.

Примером системы автоматического регулирования линейной скорости нитей основы по возмущению является механизм нитеподачи машины СК-54. Кинематическая схема механизма подачи основы этой машины приведена на рис. 154.

Навой 2 получает вращение от главного вала машины через механическую передачу. Чтобы поддержать постоянную линейную скорость схода нитей с навоя при изменении его диаметра (регулирование по возмущению), ролик 1, контролирующий диаметр навоя, посредством двух зубчатых секторов 4—3 и пары сектор — рейка 6—5 связан с ведущим катком лобового фрикционного вариатора скорости 7. Передаточное отношение этого вариатора, определяющее величину подачи нитей на один петельный ряд, зависит от диаметра навоя.

Линейная скорость v_1 схода нитей с навоя, как известно, пропорциональна угловой скорости ω_n навоя и его радиусу r , т. е.

$$v_1 = r\omega_n. \quad (107)$$

Уравнение (107) нелинейно, так как в правой его части имеется произведение переменных. После линеаризации для приращений переменных получим

$$\Delta v_1 = r_0 \Delta \omega_n + \omega_{n_0} \Delta r$$

или

$$\Delta v_1 = W_4(p) \Delta \omega_n + W_5(p) \Delta r, \quad (108)$$

где $W_4(p) = r_0 = k_4$ — передаточная функция звена, определяющего связь между линейной скоростью схода нитей с навоя и его угловой скоростью;

$W_5(p) = \omega_{n_0} = k_5$ — передаточная функция звена, определяющего связь между линейной скоростью схода нитей с навоя и его радиусом.

Отклонение угловой скорости навоя машины СК-54 возможно как при изменении скорости работы машины, так и при изменении передаточного отношения лобового фрикционного вариатора скорости механизма подачи, вызываемого перемещением щупа-ролика, контролирующего диаметр навоя. Поэтому величину $\Delta \omega_n$ можно представить в виде суммы двух слагаемых

$$\Delta \omega_n = \Delta \omega_{n_1} + \Delta \omega_{n_2}, \quad (109)$$

где $\Delta \omega_{n_1}$ — отклонение угловой скорости навоя, вызванное изменением скорости Δn машины, благодаря жесткой механической передаче от главного вала к валу навоя;

$\Delta \omega_{n_2}$ — отклонение угловой скорости навоя, вызванное изменением передаточного отношения фрикционного вариатора вследствие изменения радиуса (диаметра) навоя.

Пренебрегая люфтами и зазорами в жесткой механической передаче от главного вала машины к валу навоя, а также деформациями отдельных звеньев этой передачи, получим

$$\Delta \omega_{n_1} = k_6 \Delta n.$$

Передаточная функция указанной передачи

$$W_6(p) = \frac{\Delta \omega_{n_1}}{\Delta n} = k_6, \quad (110)$$

где k_6 — коэффициент передачи.

Иными словами, механическая передача от главного вала машины к валу навоя в динамическом отношении представляет собой безынерционное звено системы автоматического регулирования.

Динамическое звено рассматриваемого регулятора, определяющее связь между угловой скоростью $\Delta\omega_{н_2}$ навоя и его радиусом, является, строго говоря, нелинейным. Однако

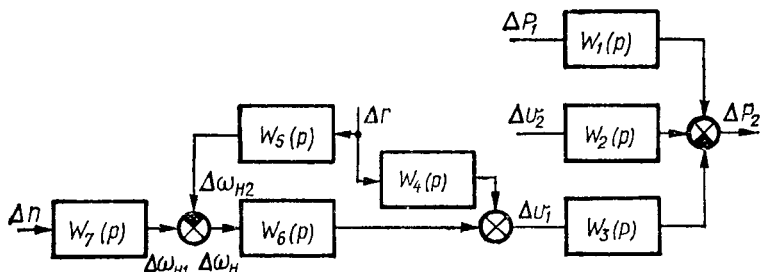


Рис. 155. Структурная схема системы автоматического регулирования линейной скорости нитей по возмущению.

при небольших отклонениях можно допустить, что изменение передаточного отношения вариатора прямо пропорционально отклонению радиуса навоя. Поэтому

$$\Delta\omega_{н_2} = -k_7\Delta r, \quad (111)$$

где k_7 — коэффициент передачи.

Передаточная функция этого звена

$$W_7(p) = \frac{\Delta\omega_{н_2}}{\Delta r} = -k_7. \quad (112)$$

Знак минус в правой части равенств (111) и (112) означает, что отрицательное приращение (уменьшение) радиуса навоя приводит благодаря компенсирующему действию регулятора к положительному приращению $\Delta\omega_{н_2}$, т. е. к увеличению угловой скорости навоя.

В соответствии с изложенным и учетом структурной схемы объекта регулирования (рис. 153) можно построить структурную схему системы автоматического регулирования линейной скорости нитей по возмущению, применяемой на основязальной машине СК-54. Такая схема представлена на рис. 155.

Рассматриваемая система регулирования является разомкнутой. В ней не компенсируется влияние на объект регулирования таких входных возмущающих воздействий, как изменение натяжения нитей в навое (ΔP_1) и изменение

скорости потребления нитей (Δv_2), а также любых погрешностей в работе механической передачи от главного вала машины к валу навоя, например проскальзывание во фрикционной паре.

Систему автоматического регулирования скорости подачи нити в соответствии с изменением диаметра навоя можно также рассматривать как следящую систему. Регулируемой величиной при этом следует считать угловую скорость навоя ($\Delta \omega_n$), а переменным задающим воздействием следящей системы — диаметр навоя.

В системе автоматического регулирования линейной скорости нитей по отклонению линейная скорость v_1 схода нитей с навоя сравнивается с заданным значением и при возникновении ее отклонения вырабатывается управляющее воздействие: изменяется, как правило, передаточное отношение вариатора скорости механизма нитеподачи. В результате угловая скорость навоя изменяется до тех пор, пока линейная скорость схода нитей не становится равной заданному значению, определяемому скоростью работы машины и видом переплетения.

Рассмотрим такую систему регулирования на примере механизма подачи основы машины «Эксцентра», упрощенная кинематическая схема которого представлена на рис. 156.

Линейная скорость v_1 схода нитей с навоя 1 контролируется роликом 2 и затем сравнивается посредством дифференциала 3 с ее заданным значением, получаемым от вариатора скорости 4. При возникновении сигнала отклонения вырабатывается регулирующее воздействие — изменяется передаточное отношение исполнительного вариатора скорости 5, установленного в кинематической цепи между главным валом и валом навоя.

Измерительный орган в рассматриваемой системе может быть представлен безынерционным звеном с коэффициентом передачи k_s , на входе которого действует величина Δv_1 , а на выходе — изменение угловой скорости $\Delta \omega_n$ ролика, контролирующего линейную скорость, т. е.

$$W_s(p) = \frac{\Delta \omega_n}{\Delta v_1} = k_s. \quad (113)$$

Элемент сравнения (механический дифференциал) вырабатывает сигнал рассогласования, равный

$$\Delta \omega_p = \Delta \omega_s - \Delta \omega_n, \quad (114)$$

где $\Delta\omega_3$ — отклонение заданного значения угловой скорости, пропорциональной заданной линейной скорости нитей основы.

Сигнал рассогласования приводит в действие исполнительный орган (передвигается промежуточный элемент вариатора скорости), который может быть представлен

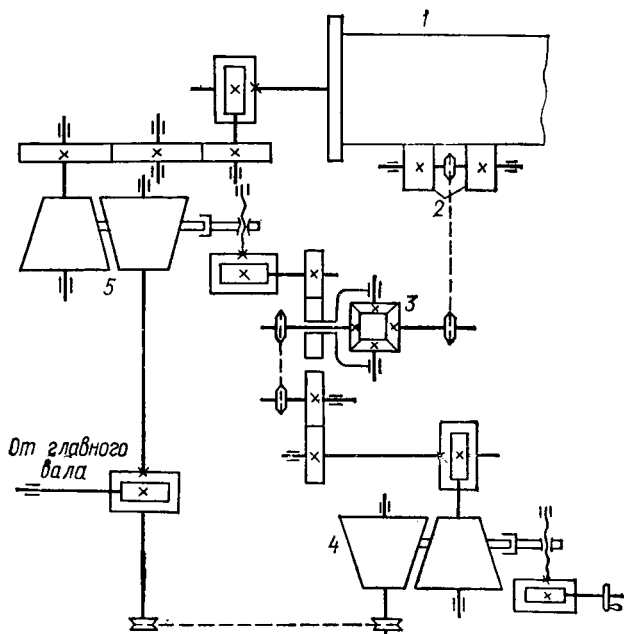


Рис. 156. Кинематическая схема механизма подачи основы машины «Эксцентр».

идеальным интегрирующим звеном, поскольку промежуточный элемент перемещается только при наличии сигнала $\Delta\omega_p$, т. е.

$$W_9(p) = \frac{\Delta z}{\Delta\omega_p} = \frac{k_9}{p}, \quad (115)$$

где Δz — перемещение промежуточного элемента вариатора скорости;

k_9 — коэффициент передачи звена.

Наличие интегрирующего звена делает систему астатической: регулирование скорости v_1 осуществляется без статической ошибки.

Система автоматического регулирования линейной скорости схода нитей с навоя представляет собой систему следящего регулирования, так как задающее воздействие $\Delta\omega_3$ является величиной переменной и определяется скоростью работы машины. При постоянной же скорости машины имеет место стабилизирующее регулирование линейной скорости нитей.

На рис. 158 приведена схема механизма нитеподачи основывальной машины «Фаворит», который обеспечивает регулирование нитей основы по отклонению.

При изменении натяжения нитей основы 1 скало 2 с помощью рычага воздействует на поршень золотника 6, управляющего скоростью вращения гидравлического двигателя 4. Этот двигатель, питаемый маслом с помощью шестерчатого насоса 5, приводит во вращение навоя 3. Таким образом, скорость гидравлического двигателя зависит от фактического значения натяжения нитей.

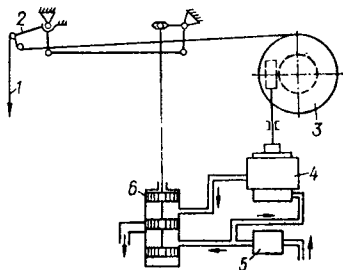


Рис. 158. Схема механизма подачи основы машины «Фаворит».

Скало, являясь измерительным органом натяжения, может быть представлено колебательным звеном с передаточной функцией $W_{11}(p)$, которая определяется на основании уравнения (67)

$$W_{11}(p) = \frac{\Delta y}{\Delta P_2} = \frac{k_{11}}{T_{10}^2 p^2 + T_{11} p + 1}. \quad (117)$$

Перемещение скало Δy относительно его заданного положения Δy_3 приводит к пропорциональному по величине перемещению поршня золотника Δy_1

$$\Delta y_1 = k_{12} (\Delta y_3 - \Delta y) = k_{12} \Delta y_p$$

или

$$W_{12}(p) = \frac{\Delta y_1}{\Delta y_p} = k_{12}. \quad (118)$$

Перемещение Δy_1 поршня золотника вызывает изменение угловой скорости гидравлического двигателя и, следовательно, вала навоя. Гидравлический двигатель вследствие его инерционности при небольших отклонениях может быть

представлен аperiodическим звеном первого порядка с передаточной функцией

$$W_{13}(p) = \frac{\Delta\omega_H}{\Delta y_1} = \frac{k_{13}}{T_{13}p + 1}, \quad (119)$$

где k_{13} — коэффициент передачи;

T_{13} — постоянная времени двигателя.

Структурная схема рассматриваемой системы регулирования приведена на рис. 159. Преимуществом такой системы в сравнении с ранее рассмотренными (см. рис. 155 и 157) является наличие замкнутого контура регулирования натяжения ΔP_2 нитей основы, в котором учитываются

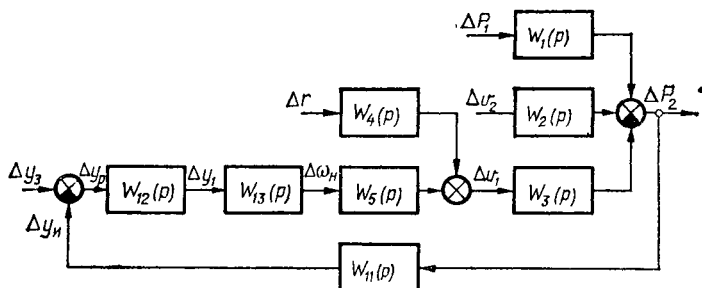


Рис. 159. Структурная схема системы автоматического регулирования натяжения нитей по отклонению.

и компенсируются все возмущающие воздействия (ΔP_1 , Δu_2 , Δr), влияющие на основную регулируемую величину.

В системах нитеподачи на машинах ОВ-7, СК-57 и «Кокетт» регулируемой величиной также является натяжение P_2 нитей, однако здесь вращение передается навою от главного вала машины, а исполнительным органом служит дифференциально-планетарный вариатор, установленный в кинематической цепи передачи от главного вала к валу навоя. Передаточное отношение этого вариатора определяется положением скало, воздействующего посредством тормозных колодок на специальные шкивы. В динамическом отношении дифференциально-планетарный вариатор может быть представлен безынерционным звеном.

В последних моделях машины «Кокетт» в регуляторе подачи использован измерительный орган релейного действия (электроконтактное устройство, связанное со скало), который с помощью реверсивного электромагнитного устройства воздействует на промежуточный элемент конусного

вариатора скорости, установленного в цепи передачи от главного вала машины к валу навоя. Наличие релейного элемента определяет автоколебательный режим работы системы регулирования.

Глава 5

ПРИМЕРЫ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТРИКОТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ КРАШЕНИЯ ТРИКОТАЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Многообразное красильное оборудование в зависимости от назначения подразделяется на аппараты и машины для крашения волокон, ленты, пряжи, чулочно-носочных изделий и полотна.

Для крашения пряжи из различных волокон, лент и тесьмы, намотанных в мотки, применяются пряжекрасильные аппараты. Технологический процесс крашения в аппарате КМ-10 основан на принципе омыwania мотков красильным раствором, поступающим под давлением из щелей труб, на которые навешена пряжа. Под каждой из десяти труб имеется перекидная планка, которая с помощью двигателя один раз в 1 или 2 мин перемещает пряжу вокруг трубы. В аппарате предусмотрено автоматическое регулирование температуры красильного раствора.

Принципиальная электрическая схема управления красильным аппаратом показана на рис. 160. Насос красильного аппарата приводится двигателем Д1; двигатель Д2 служит для привода механизма перекидок.

При подготовке аппарата к пуску необходимо установить переключатель ПП в положение «Подогрев». В этом случае срабатывает контактор КЗ и включается электромагнит ЭМ, открывающий клапан подачи пара в змеевики для нагревания красильного раствора в ванне аппарата. Затем переключатель ПП устанавливают в положение

«Автоматический» и нажимают кнопку *КП1*. При этом срабатывает контактор *К1*, подключающий двигатель *Д1* насоса к сети.

Для пуска в режиме автоматической работы двигателя *Д2* перекидок нажимают кнопку *КП2*. При этом срабатывает промежуточное реле *РП1*, которое включает синхронный двигатель *СД* и подготавливает к работе контактор

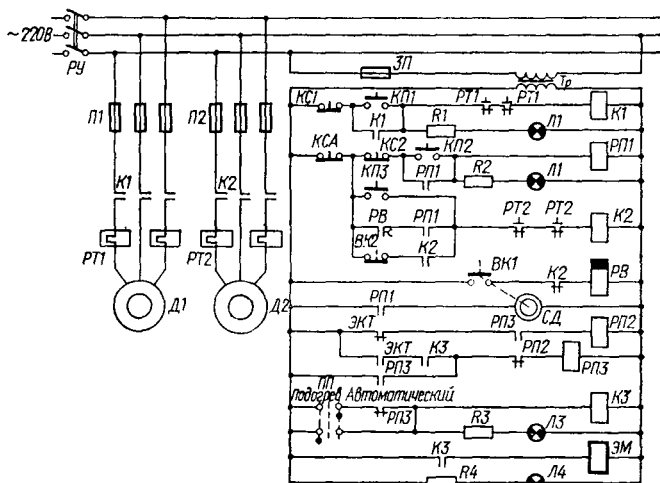


Рис. 160. Принципиальная электрическая схема управления красильным аппаратом КМ-10.

К2. Двигатель *СД* раз в минуту (или в две минуты) с помощью эксцентрика нажимает на конечный выключатель *ВК1*, подавая в импульсном режиме питание на обмотку реле времени *РВ*. Это реле включает контактор *К2*, и двигатель перекидок *Д2* начинает вращаться. Одновременно размыкающий контакт *К2* разрывает цепь питания обмотки реле *РВ*. Однако контактор *К2* продолжает получать питание через размыкающийся с выдержкой времени замыкающий контакт *РВ*, а также через замыкающий контакт *К2* и размыкающий контакт конечного выключателя *ВК2*. Последний срабатывает в конце каждого оборота механизма перекидок.

Если реле времени *РВ* настроено таким образом, что его контакт размыкается прежде, чем механизм перекидок сделает один оборот, то в конце первого оборота перекидок срабатывает конечный выключатель *ВК2* и контактор *К2*

теряет питание, отключая двигатель *Д2*. Если же после первого оборота механизма перекидок контакт реле времени *РВ* находится еще в замкнутом состоянии, то двигатель перекидок продолжает работать, обеспечивая еще один оборот механизма перекидок. Таким образом, в зависимости от настройки реле времени можно обеспечить один либо два оборота механизма перекидок за одно включение двигателя *Д2*. После отключения контактора *К2* реле *РВ* подготавливается к новому циклу работы. Цикл повторяется автоматически с интервалом в одну минуту. Двигатель перекидок может также включаться в режиме ручного пуска кнопкой *КПЗ*. В этом случае после одного оборота механизма перекидок контактор *К2* отключается конечным выключателем *ВК2*.

Температура раствора в ванне аппарата контролируется электроконтактным термометром *ЭКТ*, контакты которого установлены в цепях питания промежуточных реле *РП2* и *РП3*. При достижении заданного значения температуры замыкающий контакт *ЭКТ* включает реле *РП3*, а размыкающий контакт *ЭКТ* разрывает цепь питания реле *РП2*. При этом отключается контактор *К3* и обесточивается катушка электромагнита *ЭМ*, в результате чего прекращается подача пара в змеевик нагревателя.

При снижении температуры замыкается размыкающий контакт *ЭКТ* в цепи обмотки реле *РП2* и замыкается замыкающий контакт в цепи обмотки реле *РП3*. Последнее обесточивается и своим размыкающим контактом включает контактор *К3*, обеспечивая срабатывание электромагнита *ЭМ* и подачу пара в нагреватель. Для останова двигателя перекидок нажимают кнопку *КС2*. При этом теряет питание реле *РП1*, выключается синхронный двигатель *СД*, но двигатель *Д2* продолжает работать до окончания цикла. В случае аварийного останова двигателя перекидок используется кнопка *КСА*. Для останова двигателя насоса служит кнопка *КС1*.

Крашение трикотажного полотна производят в жгутовых барках, которые применяются также для различных мокрых обработок полотна до или после крашения.

В барке Б-2 окрашивается при непрерывном движении 10—12 кусков полотна, заправленных либо свободными жгутами, либо в виде бесконечной петли. Качество крашения полотна зависит от точного соблюдения времени его обработки в рабочих растворах, а также от температуры,

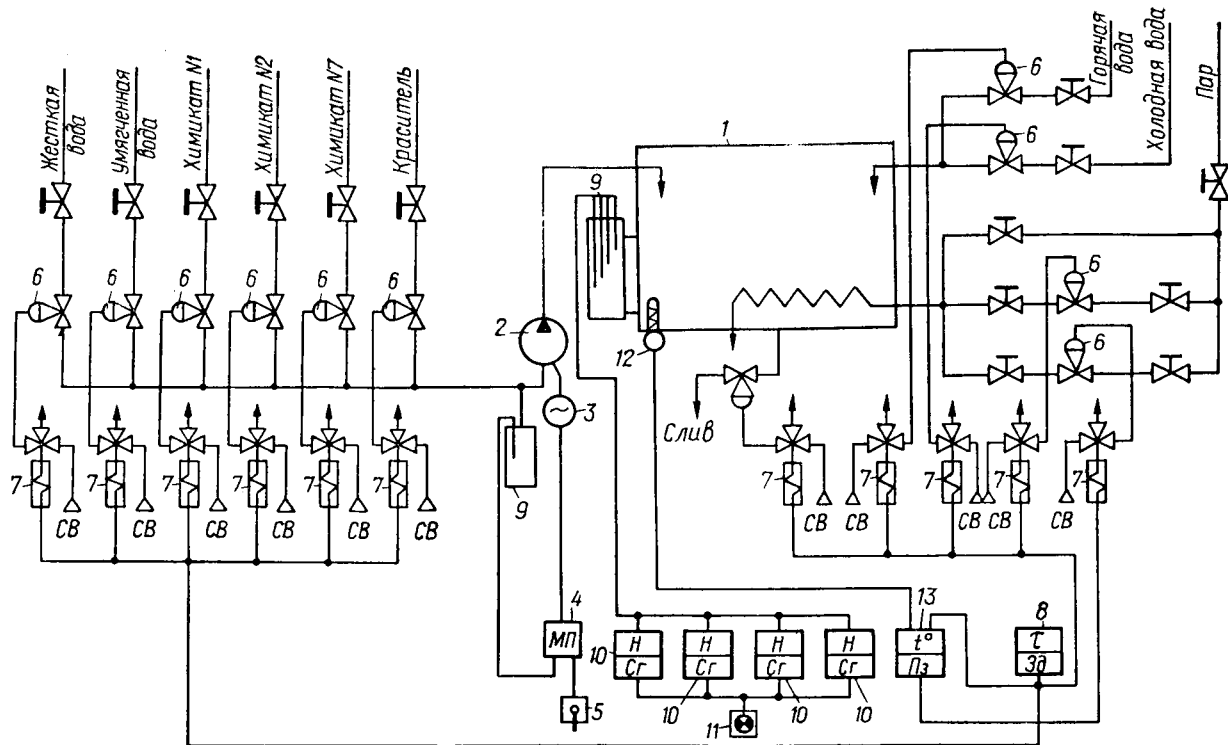


Рис. 161. Принципиальная схема автоматизации красильной барки Б-2.

уровня и концентрации химикатов в барке. Принципиальная схема автоматизации красильной барки Б-2, применяемой на Киевской трикотажной фирме им. Р. Люксембург, приведена на рис. 161.

Схема предусматривает автоматизацию температурного режима процесса крашения, а также управление по заданной временной программе подачей химикатов, красителей, горячей и холодной воды для промывки. Для подачи растворов в барку 1 установлены мембранные исполнительные механизмы 6 и электропневматические клапаны 7, последовательность срабатывания которых во времени определяется устройством программного управления 8. Мембранные исполнительные механизмы для подачи химикатов и красителя на выходе объединены в общую трубопроводную гребенку, присоединенную к насосу-дозатору 2. Двигатель 3 насоса-дозатора, управляемый с помощью магнитного пускателя 4 и ключа 5, включается при достижении определенного уровня раствора в гребенке, контролируемого специальным стержневым датчиком уровня. Уровень растворов и воды в барке на различных этапах технологического процесса контролируется четырьмя стержневыми датчиками 9, соединенными с сигнализирующими приборами 10. Сигнализация осуществляется с помощью табло 11.

Требуемое значение температуры растворов в барке устанавливается также устройством программного управления 8. Это устройство управляет подачей острого пара в магистраль обогрева через один из мембранных исполнительных механизмов, а также осуществляет изменение заданного значения температуры для двухпозиционного регулятора 13, работающего в комплекте с датчиком 12. Регулятор 13 при отклонении температуры от заданного значения управляет работой другого мембранного исполнительного механизма, установленного в магистрали обогрева паром.

Упрощенная принципиальная электрическая схема устройства программного управления баркой показана на рис. 162. В устройстве используются пять шаговых искателей типа ШИ-25/8, из которых один является командным, а четыре — исполнительными. По 23 ламели шести полей каждого исполнительного шагового искателя предназначены для получения 552 возможных управляющих сигналов программного устройства. Остальные ламели и поля исполнительных шаговых искателей используются для

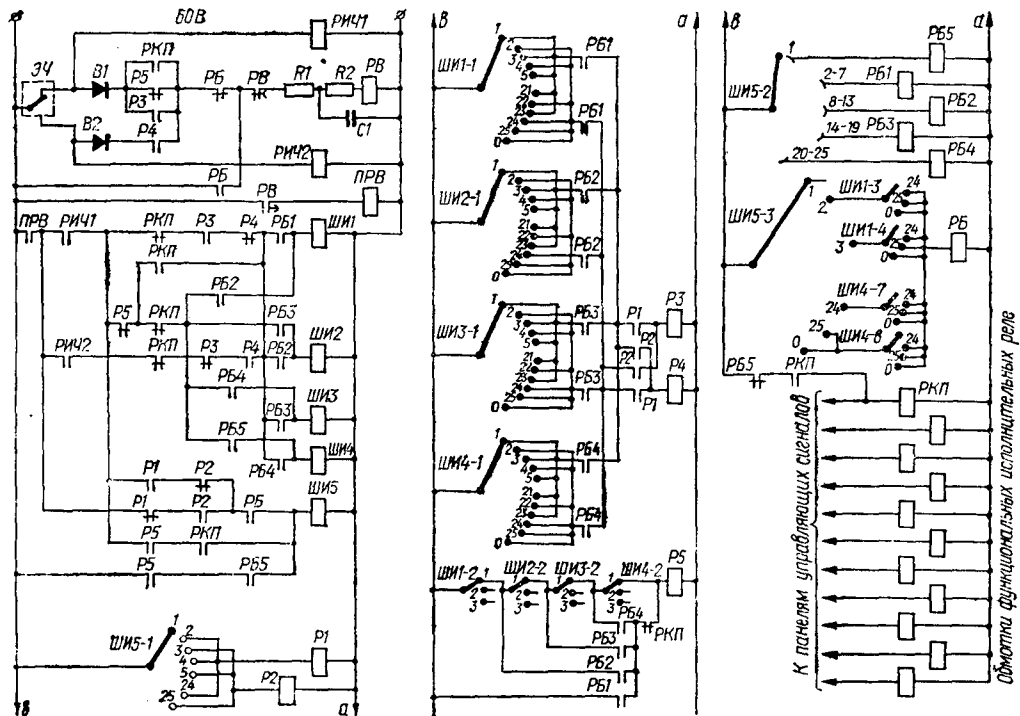


Рис. 162. Принципиальная электрическая схема устройства программного управления баркой.

внутренних связей устройства. К ламелям управляющих сигналов в соответствии с конкретной временной программой подключены обмотки функциональных исполнительных реле. Щетки исполнительных шаговых искателей в определенной последовательности подключают к источнику питания указанные реле, которые, в свою очередь, управляют работой электромагнитных клапанов и подключают при необходимости регулятор температуры растворов в барке к требуемому по технологическому режиму задатчику температуры.

В исходном состоянии схемы щетки всех шаговых искателей находятся в первом положении и включены реле *P5* и *PБ5*. При этом получает питание обмотка командного шагового искателя *ШИ5*, щетки которого перемещаются на один шаг. В результате срабатывают реле *P1* и *PБ1*, а затем *P3*.

Запуск исполнительных шаговых искателей осуществляется от электрочасов, которые с минутным интервалом переключают контакт поляризованного реле *Э4*. При «нечетной» минуте контакт *Э4* находится в верхнем положении (включено реле *РИЧ1*), при «четной» — в нижнем положении (включено реле *РИЧ2*).

При «нечетной» минуте через замыкающий контакт реле *P3* получает питание обмотка реле *PВ*, работающего вместе с резисторами *R1*, *R2* и конденсатором *С1* в режиме пульс-пары. Замыкающий контакт реле повторителя пульс-пары *ПРВ* подает импульсы на обмотку первого исполнительного шагового искателя *ШИ1*. Этот искатель перемещает щетки во второе положение, вследствие чего отпускает реле *P3* и срабатывает реле *P4*. Затем питание на пульс-пару подается при «четной» минуте через замыкающий контакт *P4*. При этом происходит очередное срабатывание шагового искателя *ШИ1*, отключение реле *P4* и включение реле *P3* и т. д.

Когда щетки *ШИ1* находятся в 23-м положении, включено реле *P3* и подготовлена цепь для приема импульса «нечетной» минуты. С приходом этого импульса щетки *ШИ1* переходят в 24-е положение, в результате чего срабатывают реле *P4* и *PБ*. Срабатывание реле *PБ* обеспечивает питание пульс-пары независимо от работы электрочасов, а также очередное срабатывание командного шагового искателя *ШИ5*. При третьем положении щеток *ШИ5* отпускает реле *P1* и срабатывает реле *P2*, после чего отпускает

реле *P4* и срабатывает реле *P3*. В результате три очередных импульса пульс-пары, следующих с периодом менее 1 сек, переводят шаговый искатель *ШИ1* в первое исходное положение, вызывая отпускание реле *PБ*, *P4* и срабатывание реле *P3*.

Таким образом, шаговый искатель *ШИ1* делает шесть последовательных циклов. После окончания 6-го цикла щетка второго поля *ШИ5* переходит в восьмое положение, отключая реле *PБ1* и включая реле *PБ2* и обеспечивая тем самым дальнейшую работу шагового искателя *ШИ2* в течение последующих шести циклов. Затем аналогичным образом по шесть циклов могут последовательно сделать шаговые искатели *ШИ3* и *ШИ4*. Контроль исходных положений исполнительных шаговых искателей при переходе их работы с одного на другой осуществляется с помощью реле *P5*.

Если на какой-либо минуте планируется окончание программы, то к соответствующей ламели поступает управляющий сигнал и срабатывает реле *РКП*. Это реле становится на самоблокировку и обеспечивает питание пульс-пары при приходе импульса нечетной минуты. Кроме того, реле *РКП* своим размыкающим контактом обесточивает реле *P5* и обеспечивает тем самым подачу импульсов от пульс-пары на обмотку того исполнительного шагового искателя, который находится в рабочем положении. Последний включится в работу и будет перемещать свои щетки до тех пор, пока они не станут в исходное положение. При этом срабатывает реле *P5*, отключая обмотки исполнительных шаговых искателей и подключая вместе с замыкающим контактом *РКП* обмотку командного шагового искателя *ШИ5*. Импульсы от пульс-пары переведут и этот искатель в исходное положение, при котором сработает реле *PБ5* и своим размыкающим контактом разорвет цепь самоблокировки реле *РКП*.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТДЕЛКИ ЧУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

После вязания чулочно-носочные изделия проходят ряд отделочных операций, стабилизацию, крашение, промывку, аппретирование, сушку, формование. Последовательность отделочных операций определяется в каждом конкретном случае видом изделий; в некоторых случаях часть операций может быть исключена. Все технологические опе-

рации отделки чулочных изделий проводятся либо на отдельных машинах, либо на универсальном агрегате УКФ-60.

Схема управления чулочно-формовочно-отделочной машиной ЧФО-70У приведена на рис. 163. На этой машине осуществляется отделка, сушка и стабилизация предварительно окрашенных капроновых чулок. Мокрые чулки одеваются на 70 форм, установленных на каретке машины.

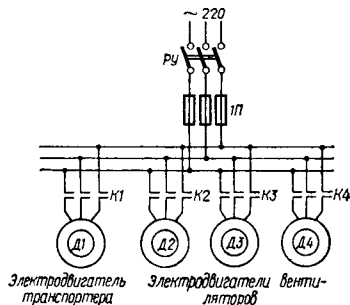
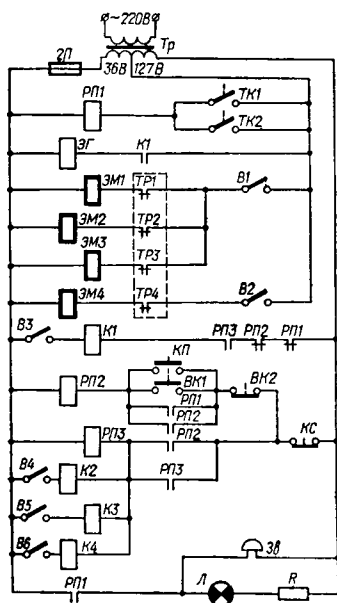


Рис. 163. Схема управления чулочно-формовочно-отделочной машиной ЧФО-70У.

Каретка перемещается в камеру машины при помощи транспортера, приводимого асинхронным двигателем Д1. Требуемая скорость движения транспортера устанавливается при помощи вариатора скорости. Двигатель Д1 приводит также две пары разглаживающих, прессующих и отжимных валов машины.

Запарка чулок производится горячим паром, подогреваемым калорифером. Сушка осуществляется в трехзонной камере со ступенчатым подогревом воздуха при помощи калориферов. Каждая зона оснащена вентилятором (двигатели Д2, Д3 и Д4).

Перед пуском машины должны быть включены тумблеры В1—В6. При нажатии кнопки пуска КП срабатывает

промежуточное реле *РП2*, а затем *РП3*, обеспечивая питание контакторов *К2*, *К3* и *К4*, управляющих электродвигателями вентиляторов.

Двигатель транспортера включается с помощью педали. При этом размыкается контакт конечного выключателя *ВК2*, обесточивается реле *РП2* и срабатывает контактор *К1*. Одновременно с включением электродвигателя *Д1* срабатывает электрогидравлическое реле *ЭГ*, обеспечивающее подачу горячей воды к форсункам устройства увлажнения.

В случае входа в отделочные валы изогнутых форм замыкаются контакты технологической защиты *ТК1*, *ТК2* и срабатывает промежуточное реле *РП1*, которое своим размыкающим контактом отключает контактор *К1*, а замыкающими контактами включает реле *РП2*, а также световую и звуковую сигнализацию.

Контакты дилатометрических термореле *ТР1—ТР4* управляют электромагнитами *ЭМ1—ЭМ4* клапанов подачи горячей воды в калориферы трех зон сушильной камеры и устройства увлажнения, обеспечивая двухпозиционное автоматическое регулирование в четырех указанных точках.

Для останова транспортера служит педаль, связанная с конечным выключателем *ВК1*, который включает реле *РП2*; останов машины в конце смены осуществляется кнопкой *КС*.

Для комплексной отделки чулочных изделий (стабилизация, крашение, промывка, сушка-формование) широко используется универсальный агрегат *УКФ-60*. Он состоит из камеры крашения, внутри которой установлена система распыления рабочих растворов, механизмов подъема и уплотнения камеры крашения, системы циркуляции рабочих растворов, кареток с формами, механизма привода кареток, сушильной камеры и пульта управления, обеспечивающего требуемую последовательность работы всех механизмов, а также автоматический контроль и регулирование технологических параметров.

Агрегат обслуживается с двух сторон. В каждую камеру одновременно устанавливается по две каретки с формами; две другие каретки при этом находятся в зоне обслуживания. Схема перемещения кареток показана на рис. 164.

Суровые чулки одеваются в зоне обслуживания на формы кареток *1*. Механизм привода обеспечивает продольное перемещение кареток из зоны обслуживания на боковые тележки *2*, которые перемещаются в поперечном направле-

нии к центру агрегата; затем каретки поступают в камеру крашения 3. Каретки 4, ранее находившиеся в камере крашения, перемещаются при этом в сушильную камеру 5, а каретки 6 выходят из сушильной камеры, устанавливаются на боковые тележки 7 и расходятся в поперечном направлении, после чего поступают в зону обслуживания. Здесь отделанные чулки снимаются с форм, а на их место надеваются суровые. Таким образом, через каждый рабочий

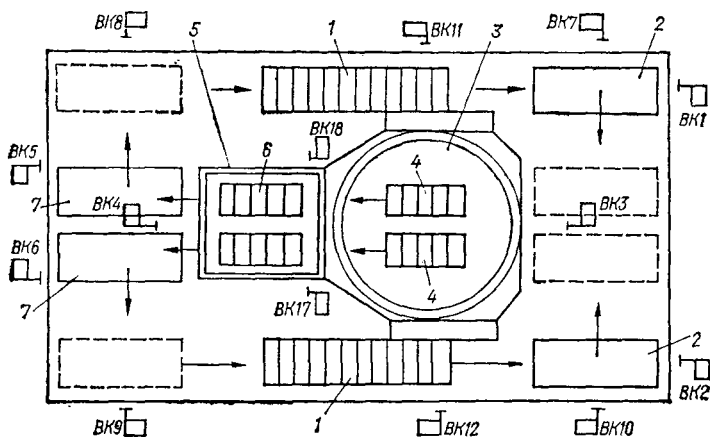


Рис. 164. Схема перемещения кареток агрегата УКФ-60.

цикл каретки попарно меняются местами. Положение кареток на всех участках трассы контролируется конечными выключателями ВК. Обозначения этих выключателей совпадает с их обозначениями на упрощенной электрической схеме управления, показанной на рис. 165.

Для перемещения кареток в продольном направлении служат асинхронные электродвигатели Д1 и Д2. Перемещение тележек в поперечном направлении осуществляется двигателями Д3 и Д4, одновременно с которыми включаются растормаживающие электромагниты ЭМТ1 и ЭМТ2. Колпак камеры крашения открывается и закрывается с помощью двигателя Д5. Двигатели Д6 и Д7 приводят вентиляторы сушильной камеры; двигатель Д8 приводит насос для циркуляции маточного раствора, а двигатель Д9 — насос для циркуляции рабочих растворов в красильной камере.

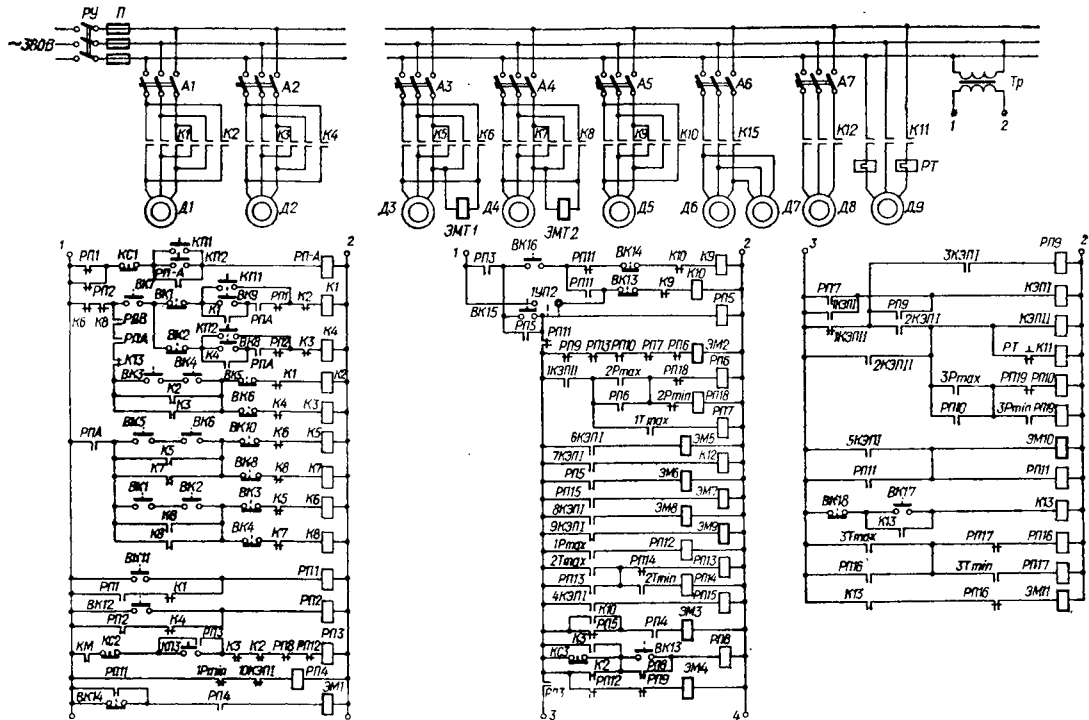


Рис. 165. Принципиальная электрическая схема управления агрегатом УКФ-60.

Перед пуском агрегата устанавливается требуемое давление пара и сжатого воздуха в соответствующих магистралях. В исходном положении колпак камеры крашения находится в верхнем положении. После загрузки чулок на формы оператор нажимает кнопки *КП1* и *КП2*, в результате чего срабатывают контакторы *К1* и *К4*, включающие двигатели *Д1* и *Д2*. В крайних положениях кареток срабатывают конечные выключатели *ВК1* и *ВК2*, что приводит к отключению контакторов *К1*, *К4* и соответствующих двигателей. Одновременно срабатывают контакторы *К6* и *К8*, включающие двигатели *Д3* и *Д4* поперечного перемещения тележек, которые останавливаются в центре агрегата при срабатывании конечных выключателей *ВК3* и *ВК4*. Эти же конечные выключатели своими замыкающими контактами включают контакторы *К2* и *К3*, обеспечивающие вращение двигателей *Д1* и *Д2* для перемещения кареток по направлению к красильной камере. При этом другие каретки с чулками из красильной камеры перемещаются в сушильную камеру, а из сушильной камеры — для последующего продвижения к месту разгрузки. В конце хода кареток в продольном направлении срабатывают конечные выключатели *ВК5* и *ВК6*. Двигатели *Д1* и *Д2* опять останавливаются, а двигатели *Д3* и *Д4* поперечного движения включаются контакторами *К5* и *К7*. В крайнем положении тележек срабатывают конечные выключатели *ВК7*, *ВК8*, *ВК9* и *ВК10*, останавливаются двигатели *Д3*, *Д4* и с помощью контакторов *К1* и *К4* включаются двигатели *Д1* и *Д2*. Эти двигатели работают до тех пор, пока каретки с готовыми чулками не достигнут места разгрузки. При этом срабатывают конечные выключатели *ВК11* и *ВК12*, включаются промежуточные реле *РП1* и *РП2*, отключаются контакторы *К1* и *К4* и схема управления электроприводами перемещения кареток возвращается в исходное состояние.

После загрузки кареток с чулками в красильную камеру оператор нажимает кнопку *КП3*. При наличии сжатого воздуха в пневмомагистрали, о чем свидетельствует замкнутый контакт *КМ* манометра, срабатывает реле *РП3*. Если затвор красильной камеры открыт, то замкнут замыкающий контакт конечного выключателя *ВК16* и срабатывает контактор *К9*, включающий двигатель *Д5*. Колпак камеры крашения опускается вниз. В крайнем нижнем положении колпака срабатывает конечный выключатель *ВК14*, и двигатель *Д5* останавливается. Одновременно

отключается электромагнит $\mathcal{EM}1$ электропневматического клапана. При этом закрываются затвор колпака камеры крашения и двери сушильной камеры. В крайнем положении затвора срабатывает конечный выключатель $BK15$ и включается реле $PP5$, которое подает питание на последующие цепи управления. При этом срабатывает электромагнит $\mathcal{EM}2$ электропневматического клапана, воздействующего на мембранный исполнительный механизм подачи пара в красильную камеру. В смеситель с помощью электромагнита $\mathcal{EM}6$ подается очередная доза красителя. Давление пара при стабилизации контролируется электроконтактным манометром, который при достижении заданного давления замыкает контакт $2P_{\text{макс}}$ в цепи обмотки реле $PP6$, обеспечивая отключение электромагнита $\mathcal{EM}2$. Температура в красильной камере при стабилизации контролируется электронным мостом с электроконтактным регулирующим устройством: при достижении заданного значения температуры замыкается контакт $1T_{\text{макс}}$, срабатывает реле $PP7$ и отключается электромагнит $\mathcal{EM}2$. Последующее снижение температуры приводит к повторному включению электромагнита.

Одновременно с включением реле $PP7$ получает питание командный электропневматический прибор $KЭП1$, который вместе с прибором $KЭП3$ осуществляет программное управление процессом крашения: включение и выключение двигателя $D9$ циркуляционного насоса рабочих растворов (контактор $K11$); включение и выключение двигателя $D8$ циркуляционного насоса маточного раствора (контактор $K12$); подача воды в смеситель (электромагнит $\mathcal{EM}8$); удаление красильного раствора из камеры (электромагнит $\mathcal{EM}4$); сброс давления в красильной камере (электромагнит $\mathcal{EM}10$); промывка и аппретирование чулок (электромагниты $\mathcal{EM}5$, $\mathcal{EM}8$ и $\mathcal{EM}9$).

Красильный раствор подается в камеру заблаговременно (промежуточные реле $PP4$, $PP5$ и электромагнит $\mathcal{EM}3$) во время подъема колпака, перемещения кареток с формами и последующего опускания колпака камеры.

Регулирование температуры и ограничение давления в камере при крашении чулок осуществляются с помощью контактов $2T_{\text{мин}}$, $2T_{\text{макс}}$ регулирующего устройства электронного моста и $3P_{\text{мин}}$, $3P_{\text{макс}}$ электроконтактного манометра, которые через промежуточные реле $PP10$ и $PP13$ управляют работой электромагнита $\mathcal{EM}2$.

Одновременно с крашением происходит сушка другой партии чулок в сушильной камере. При закрывании дверей этой камеры включаются электродвигатели вентиляторов *Д6*, *Д7* (контактор *К13*) и подается пар в калорифер (электромагнит *ЭМ11*). Контроль и регулирование температуры в сушильной камере производится с помощью контактов $3T_{\text{макс}}$ и $3T_{\text{мин}}$, которые посредством промежуточных реле *РП16* и *РП17* управляют работой электромагнита *ЭМ11* подачи пара.

В конце технологического процесса крашения замыкается контакт *5КЭП1*, включается электромагнит *ЭМ10* сброса давления в красильной камере и срабатывает реле *РП11*, которое подготавливает цепь питания электромагнита *ЭМ1* для открывания затвора камеры крашения и дверей сушильной камеры, а также цепь питания контактора *К10*. После сброса давления в камере крашения замыкается размыкающий контакт $1P_{\text{мин}}$, срабатывает реле *РП4* и включается электромагнит *ЭМ1*. При открытом затворе срабатывает конечный выключатель *ВК16*, включается двигатель *Д5* (контактор *К10*) в направлении подъема колпака камеры крашения. В крайнем верхнем положении колпака срабатывает конечный выключатель *ВК13*, и двигатель *Д5* останавливается. Одновременно срабатывает реле *РП8*, обеспечивая отключение всей аппаратуры управления процессом крашения.

Весь ход технологического процесса на агрегате УКФ-60 отображается на сигнальном табло (цепи сигнализации на схеме не показаны).

АВТОМАТИЗАЦИЯ СУШКИ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА

Сушилки для трикотажного полотна подразделяются на петлевые, барабанные и сушильно-ширильные машины непрерывного действия и сушильно-отделочные агрегаты периодического действия.

Петлевые и барабанные сушилки, а также вертикальные агрегаты применяются для сушки полотна с круглых трикотажных машин, а сушильно-ширильные машины — для сушки основовязаного полотна и разрезанного вдоль куска полотна с круглых машин. В сушильно-ширильных машинах полотно одновременно ширится до требуемых размеров и выравнивается по плотности.

На рис. 166 приведена схема барабанной сушилки. Влажное полотно подается в сушилку при помощи транспортера 2. В корпусе машины имеется пять сетчатых барабанов 1, каждый из которых приводится от индивидуально-го двигателя. Воздух из каждого барабана отсасывается вентилятором, благодаря чему внутри барабана создается разрежение и полотно присасывается к поверхности.

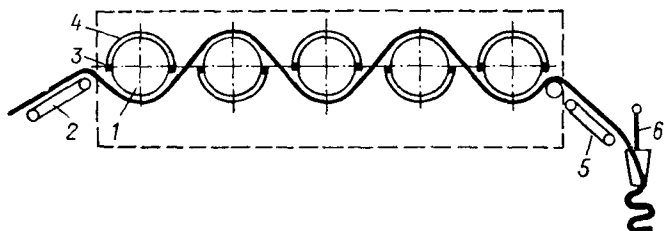


Рис. 166. Схема барабанной сушилки для трикотажного полотна.

С противоположной от полотна стороны барабан герметически закрыт неподвижным сплошным сектором 4 с помощью резиновых прокладок 3. Пройдя все барабаны, полотно поступает на транспортер 5, а затем к раскладчику 6.

Скорость движения полотна в сушилке регулируется в зависимости от его начальной влажности и плотности. Причем, для получения требуемой усадки подача полотна на каждый последующий барабан осуществляется с опережением. В сушилке установлены калориферы, обогреваемые паром. Для стабилизации температуры сушки используются двухпозиционные регуляторы температуры, управляющие электромагнитными клапанами в магистрали подачи пара. Для привода общего вентилятора вытяжки, пяти всасывающих вентиляторов и механизма раскладки полотна применены асинхронные электродвигатели с короткозамкнутыми роторами. Управление каждым из указанных двигателей осуществляется с помощью индивидуального нереверсивного магнитного пускателя.

Схема управления приводом барабанов приведена на рис. 167. Барабаны приводятся в движение электродвигателями постоянного тока Д1—Д5 с компаундным возбуждением; якорные обмотки двигателей питаются от трехфазного выпрямителя (В1—В6), а обмотки независимого возбуждения — от выпрямителя В, собранного по мостовой

схеме. Скорость каждого отдельного двигателя устанавливается изменением тока обмотки возбуждения с помощью переменных резисторов $R1—R5$. Общая скорость движения полотна в сушилке регулируется с помощью автотрансформатора AT .

Пуск машины осуществляется нажатием кнопки $KП$ после предварительного включения тумблера BK исходного положения. При этом срабатывает промежуточное реле

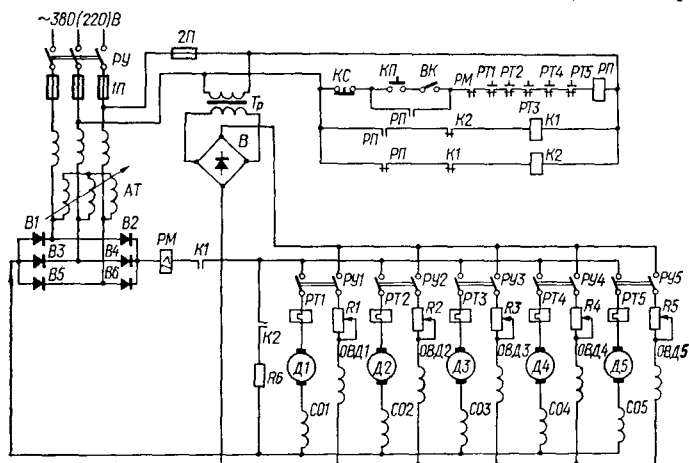


Рис. 167. Принципиальная электрическая схема управления электродвигателями привода барабанов сушилки.

PP , которое включает главный контактор $K1$. При останове двигателя включается контактор $K2$ динамического торможения.

Схема предусматривает тепловую и максимальную защиту двигателей.

На рис. 168 приведена функциональная схема универсальной сушильно-ширильно-стабилизационной машины, агрегированной с двухвальной плюсовкой. Эта машина предназначена для аппретирования, сушки, ширения и стабилизации основязанных полотен. Полотно, предварительно накатанное в рулон или сложенное в «книжку», подается в ванну 4 плюсовки с помощью заправочного механизма, который содержит брус 2, ряд свободно вращающихся направляющих роликов, регулятор 1 натяжения подаваемого полотна, а также два кромкорасправителя 3, приводимых в движение двигателем $Д16$. Пунктирной

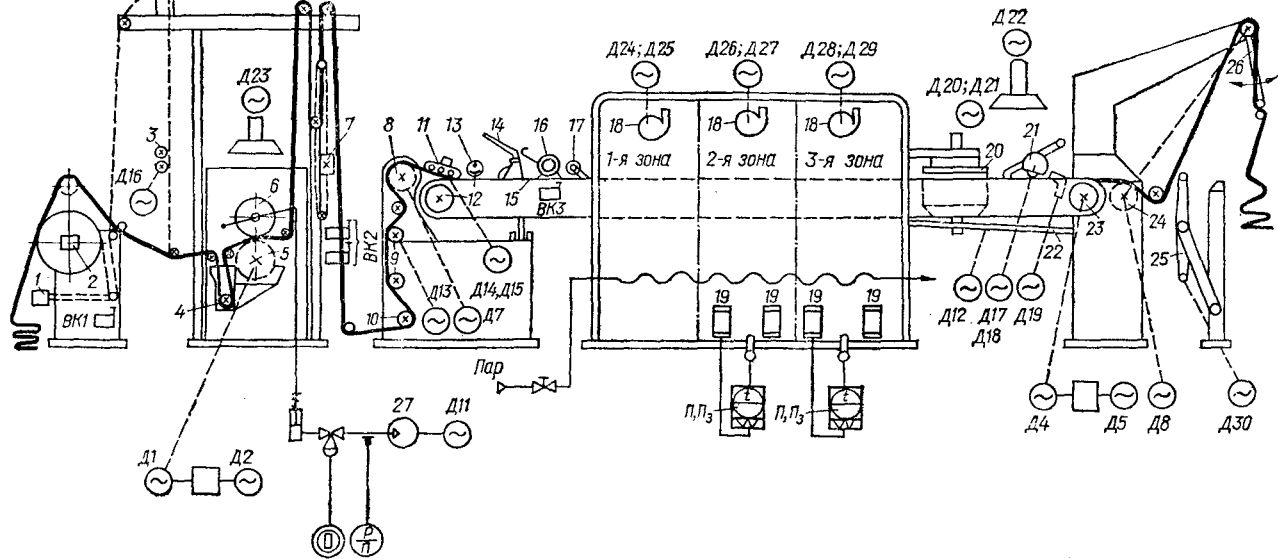


Рис. 168. Функциональная схема сушильно-ширильно-стабилизационной машины.

линией показана схема заправки малорастягивающегося трикотажного полотна.

Ведущий вал 5 плюсовки приводится трехфазным коллекторным электродвигателем Д1 (двигатель Шраге), скорость которого регулируется перемещением щеток с помощью реверсивного двигателя Д2. Степень отжима полотна, выходящего из ванны 4 плюсовки, определяется давлением между ведущим 5 и ведомым 6 валами. Прижим ведомого вала создается сжатым воздухом, поступающим из компрессора 27 к поршневым исполнительным механизмам, воздействующим на подвижные подшипники вала 6.

Для обеспечения определенного натяжения полотна скорость разматывания полотна из рулона должна быть согласована со скоростью ведущего вала плюсовки. С этой целью применяется регулятор 1 натяжения полотна, который в зависимости от значения натяжения воздействует на бесступенчатый вариатор скорости, установленный в цепи передачи от ведущего вала плюсовки к брусу 2 заправочного механизма. Указанный регулятор содержит подпружиненную раму с противовесом, которая при изменении натяжения полотна воздействует на конечные выключатели ВК1, контакты которых установлены в цепи питания специального сервоэлектродвигателя, перемещающего промежуточный элемент вариатора скорости.

Натяжение полотна на участке от плюсовки до вводного поля машины стабилизируется с помощью компенсатора 7. Этот компенсатор содержит огибаемый полотном ролик, который при своем перемещении с помощью специальной цепи воздействует на микропереключатели ВК2. Контакты микропереключателей находятся в цепи управления реверсивным двигателем Д2, который через редуктор перемещает щетки двигателя Д1 привода плюсовки, устанавливая тем самым необходимую скорость полотна. После компенсатора натяжения полотно через направляющие валики подается к винтовым ширителям 9 вводного поля машины. Винтовые ширители приводятся с помощью асинхронного электродвигателя Д13 с короткозамкнутым ротором. После ширителей полотно подается через обрезиненный вал 8 механизма опережения к винтовым кромкоправителям 11, а затем на иглы бесконечной цепи 15. Для создания необходимого натяжения поступающего на иглы бесконечной цепи полотна скорость вала 8, приводимого двигателем Д7, должна быть выше скорости направляющего

вала 10. Эти валы соединены между собой посредством механической передачи с регулируемым вручную передаточным отношением.

Две бесконечные цепи 15, состоящие из пластинчатых звеньев с иглами, движутся по направляющим шинам, огибая ведущие 23 и ведомые 12 звездочки. Ведомые звездочки находятся в вводном поле, а ведущие — в конце машины. Для привода ведущих звездочек применяется двигатель Шраге (Д4), скорость которого регулируется перемещением щеток с помощью реверсивного электродвигателя Д5.

Чтобы кромка полотна равномерно накаливалась на иглы бесконечной цепи, на машине используется кромко-следящая система, которая автоматически перемещает направляющие цепей под кромку полотна. При отделке светлых трикотажных полотен кромко-следящая система работает с фотоэлектрическим датчиком 13. На фоторезистор этого датчика падает отраженный от кромки полотна световой луч. При смещении кромки меняется освещенность фоторезистора, включенного в схему фотореле, управляющего своими выходными контактами исполнительным электродвигателем постоянного тока, который перемещает направляющие цепей 15 под кромку полотна (электродвигатели кромко-следящей системы на схеме не показаны).

При отделке темных трикотажных полотен вместо фотоэлектрических кромконаблюдателей применяются электро-механические.

Электро-механический кромконаблюдатель содержит подпружиненный щуп, соприкасающийся с кромкой полотна между вторым и третьим роликами кромкорасправителя 11. С другой стороны, щуп, перемещаясь вместе с кромкой, воздействует на движок переменного резистора, установленного в схеме управления исполнительным электродвигателем кромко-следящей системы.

На иглы бесконечной цепи полотно накаливается с помощью двух прижимных щеток 14. Для автоматического останова двигателя Д4 привода бесконечных цепей при сходе кромки полотна с игл цепи служат щупы 16, воздействующие на конечные выключатели ВКЗ. В рабочем положении щупы 16 скользят по поверхности полотна. Если кромка полотна сходит с игл цепи, соответствующий щуп под действием собственного веса опускается вниз и размыкает контакты конечного выключателя. Перед входом полотна

в сушильную камеру с помощью устройства 17 на кромки полотна наносится жесткий проклеивающий аппрет.

Процессы сушки и стабилизации полотна осуществляются в трехзонной сушильно-стабилизационной камере. Каждая зона камеры оснащена двумя центробежными вентиляторами 18, приводимыми двигателями Д24—Д29. Перед вентиляторами установлены обогреваемые паром пластинчатые калориферы. При сушке полотна температуру в камере регулируют с помощью вентилялей подачи пара в калориферы.

Вторая и третья зоны камеры дополнительно оснащены электронагревателями 19, которые включаются в работу во время стабилизации полотна. Причем, в этих зонах установлено по два электронагревателя, один из которых включен постоянно, а другой включается или выключается с помощью двухпозиционного регулятора температуры, чем обеспечивается требуемый температурный режим в зонах камеры при стабилизации полотна.

Изменение ширины между цепями в сушильно-стабилизационной камере по всей ее длине осуществляют с помощью механизма 22 развода цепей, приводимого реверсивным двигателем Д12. Ход этого двигателя ограничивается специальными конечными выключателями, предотвращающими чрезмерный развод цепей, их сближение или перекося. При обработке полотен из высокоусадочных нитей необходима разная ширина развода цепей на различных участках камеры. Для этой цели имеется специальное устройство для изменения ручным штурвалом ширины развода цепей в отдельных зонах. При выходе из сушильной камеры полотно сверху и снизу обдувается холодным воздухом с помощью вентиляторов, помещенных в охлаждающее устройство 20. Вентиляторы приводятся асинхронными электродвигателями Д20 и Д21. В зоне охлаждения после процесса стабилизации температура полотна снижается ниже температуры стеклования.

Перед съемом полотна с игл цепей установлены два кромкообрезающих устройства 21, дисковые ножи которых приводятся двигателями Д17 и Д18. Отсос обрезанной кромки производится через специальный патрубок вентилятором, приводимым двигателем Д19.

Для съема полотна с игл цепи двигатель Д8 вращает вал 24 с некоторым опережением, создавая определенное натяжение полотна. Этот же двигатель через механическую

передачу приводит в движение укладчик 26 полотна в книжку. Кроме укладчика, на машине имеется механизм 25 для накатки полотна в рулон с помощью электродвигателя Д30.

Двигатели Д22 и Д23 служат для привода вентиляторов вытяжки.

Для управления всеми электродвигателями и электронагревателями сушильно-ширильно-стабилизационной машины применяется релейно-контакторная схема, обеспечивающая пуск электрооборудования в требуемой последовательности и предусматривающая необходимые взаимные блокировки и технологическую защиту.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ КОТОННЫХ МАШИН

Котонная машина представляет собой сложный технологический комплекс, имеющий различные взаимосвязанные механизмы, обеспечивающие необходимое количество последовательных операций при вязании трикотажных изделий.

Все технологические операции выполняются машиной в соответствии с заранее заданной программой. На современных котонных машинах в качестве программных датчиков используются электромеханические и электронные устройства, позволяющие значительно повысить производительность машин и расширить их эксплуатационные возможности.

Для управления по жесткой программе отдельными механизмами котонной машины применяются релейно-контакторные схемы, обеспечивающие по сигналам от программного задающего устройства включение в требуемой последовательности всех вспомогательных исполнительных механизмов, а также переключение скорости главного вала машины.

Особо важное значение имеет автоматическое программное управление скоростью главного вала машины. Система автоматического управления должна обеспечивать плавный пуск и торможение машины, стабилизацию скорости главного вала на отдельных участках вязания изделия, а также плавный перевод электродвигателя с одной скорости на другую для уменьшения динамических нагрузок на отдельные механизмы машины.

На рис. 169 приведена упрощенная принципиальная схема системы автоматического регулирования скорости главного вала машины английской фирмы Бентлей. Главный вал приводится во вращение при помощи двигателя постоянного тока с компаундным возбуждением.

Управление скоростью производится посредством изменения напряжения, подводимого к якору *Я* двигателя.

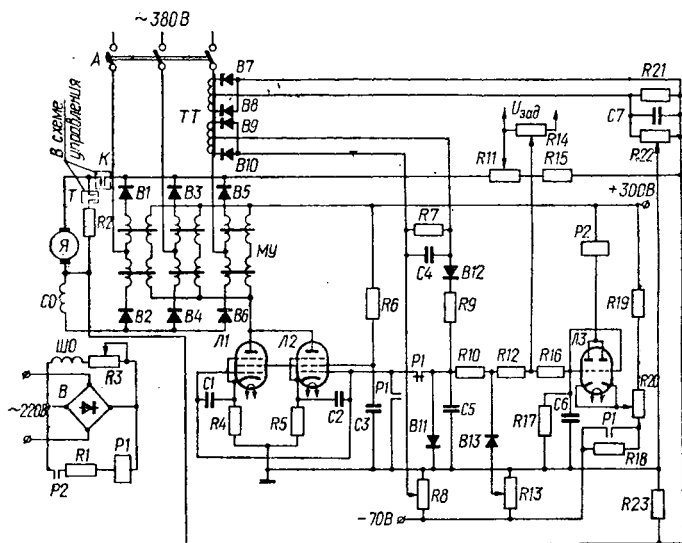


Рис. 169. Принципиальная электрическая схема системы автоматического регулирования скорости главного вала котонной машины фирмы Бентлей.

В схеме используется магнитный усилитель МУ с самонасыщением, который вместе с диодами *B1—B6* образует трехфазный двухполупериодный управляемый выпрямитель для питания якоря двигателя. Три пары управляющих обмоток магнитного усилителя соединены параллельно и включены в анодную цепь электронного усилителя, собранного на параллельно включенных пентодах *Л1* и *Л2*. При отсутствии тока в управляющих обмотках выпрямленное напряжение и скорость двигателя максимальны. По мере увеличения тока в управляющих обмотках уменьшается выпрямленное напряжение, подводимое к якору двигателя, и соответственно снижается скорость главного вала.

Требуемое значение скорости главного вала машины на различных отрезках цикла вязания изделия устанавливается

с помощью связанных с механической программной цепью микровыключателей, положение которых определяет величину напряжения $U_{\text{зад}}$, подводимого к потенциометру $R14$ от специального стабилизированного источника питания (на схеме не показан).

Навстречу опорному напряжению, снимаемому с потенциометра $R14$, включено напряжение, пропорциональное фактической скорости машины и снимаемое с якоря двигателя через сопротивление резистора $R15$ с потенциометра $R11$. Разность указанных напряжений подается на сетки ламп $L1$ и $L2$ через сопротивления $R12$ и $R10$. Анодный ток этих ламп, протекая по обмоткам управления магнитного усилителя, будет изменяться до тех пор, пока скорость двигателя не станет равна заданному значению. Величина требуемого отрицательного смещения на сетках ламп устанавливается движком потенциометра $R13$. Это смещение подается на сетки через диод $B13$. Диод $B11$ служит для ограничения отрицательного потенциала на сетках. Для фильтрации пульсаций напряжения, поступающего с якоря двигателя, применен конденсатор $C5$.

Для стабилизации скорости двигателя при изменении нагрузки на его валу используется трансформатор тока $ТТ$, включенный на входе магнитного усилителя в цепь переменного тока. Ток одной из вторичных обмоток этого трансформатора выпрямляется диодами $B7$ и $B8$ и пропускается через потенциометр $R22$. Напряжение, снимаемое с этого потенциометра, также подается на сетки ламп $L1$ и $L2$. При увеличении нагрузки на валу двигателя возрастает ток в первичной обмотке трансформатора $ТТ$, что приводит к увеличению отрицательного потенциала на сетках ламп $L1$ и $L2$ и соответствующему уменьшению их анодного тока. Это приводит к увеличению напряжения, приложенного к якору двигателя, что достаточно для компенсации возросшего тока нагрузки.

Для ограничения якорного тока двигателя в переходных режимах его работы служит другая вторичная обмотка трансформатора тока $ТТ$. Сигнал с этой обмотки вызывает падение напряжения на сопротивлении $R7$, фильтруемое емкостью $C4$. Это напряжение включено навстречу напряжению, снимаемому с потенциометра $R8$. Если напряжение на потенциометре больше, чем падение напряжения на сопротивлении $R7$, то диод $B12$ заперт, и на сетки ламп дополнительный сигнал не подается. При перегрузке двига-

теля падение напряжения на сопротивлении $R7$ увеличивается настолько, что отпирается диод $B12$ и на сетки управляющих ламп поступает положительный потенциал. Это вызывает увеличение тока в обмотках управления магнитного усилителя и соответствующее уменьшение тока в якорной цепи двигателя.

В случае подачи команды на снижение скорости двигателя опорное напряжение, снимаемое с потенциометра $R14$, уменьшается скачкообразно и в первый момент напряжение на якоре намного превышает опорное напряжение. При этом на сетках управляющих ламп возникает большой положительный потенциал, который попадает также на сетки двойного триода лампы $L3$, образующей вместе с электромагнитным реле $P2$ электронное реле напряжения. С помощью потенциометра $R20$ это реле настроено таким образом, что срабатывает только при поступлении команды на снижение скорости главного вала. Срабатывание реле $P2$ вызывает срабатывание реле повторителя $P1$, которое своими контактами отключает сетки ламп $L1$ и $L2$ от управляющего сигнала и, шунтируя сопротивление $R18$, обеспечивает надежное срабатывание реле $P2$. Кроме того, реле $P1$ включает контактор торможения T (в релейной схеме управления котонной машиной), который своим замыкающим контактом подключает гасящее сопротивление $R2$ к якору двигателя. После снижения скорости двигателя до значения, близкого к заданному, реле $P2$ отключается и восстанавливается первоначальное состояние схемы, при котором осуществляется автоматическое регулирование скорости двигателя с помощью магнитного усилителя.

Упрощенная принципиальная схема системы автоматического регулирования скорости главного вала котонной машины английской фирмы Монк приведена на рис. 170. Машина приводится в движение от двигателя постоянного тока с компаундным возбуждением. Питание якорной цепи двигателя осуществляется от тиристорного выпрямителя, собранного по трехфазной мостовой схеме. Поскольку электропривод неререверсивный, в схеме используется три управляемых тиристора $T1$, $T2$, $T3$ и три неуправляемых диода $B1$, $B2$ и $B3$. Якорь двигателя шунтирован обратным диодом $B4$, что обеспечивает протекание якорного тока за счет э. д. с. самоиндукции в непроводящие интервалы времени тиристорного выпрямителя.

дят семь потенциометров, питаемых стабилизированным напряжением постоянного тока. В процессе вязания изделия электромеханическое программирующее устройство подключает к схеме управления тиристорным выпрямителем соответствующий потенциометр задатчика (на схеме рис. 170 показан только один потенциометр задатчика — $R29$); эталонное напряжение, снимаемое с этого потенциометра, пропорционально требуемой скорости работы машины.

Напряжение, пропорциональное фактической скорости работы машины, снимается с потенциометра $R1$, который включен параллельно якорной обмотке двигателя, и сравнивается с эталонным напряжением. Результат сравнения поступает на базу транзистора $ППЗ$, включенного в схему усилителя постоянного тока. Выходное напряжение этого усилителя, снимаемое с коллектора транзистора $ППЗ$, подается на входы трех идентичных блокинг-генераторов (конденсатор $C4$), $БГ1$, $БГ2$ и $БГ3$, которые служат для управления тиристорами выпрямителя.

На рис. 171 приведена схема лишь одного блокинг-генератора $БГ1$, собранного на транзисторе $ПП1$. Схемы двух других блокинг-генераторов аналогичны.

В коллекторной цепи транзистора $ПП1$ установлена первичная обмотка трансформатора $Тр1$. Одна из вторичных обмоток трансформатора, включенная последовательно с конденсатором $C2$ в цепь эмиттер — база транзистора, служит для создания положительной обратной связи в схеме генератора. На базу транзистора $ПП1$, кроме управляющего напряжения с выхода усилителя постоянного тока, к клеммам a и b с частотой 50 гц подаются импульсы от одной из вторичных обмоток фазирующего трансформатора $Тр3$ через диод $B8$, резистор $R7$ и конденсатор $C3$. Фазирующий трансформатор обеспечивает синхронную работу блокинг-генераторов и соответствующих тиристоров выпрямителя.

В результате суммирования напряжения с выхода усилителя постоянного тока и напряжения синхронизирующих импульсов в течение некоторой части полупериода питающего напряжения к базе транзистора $ПП1$ относительно эмиттера приложен отрицательный потенциал. В это время транзистор $ПП1$ открыт и в его коллекторной цепи возникают высокочастотные колебания, которые через трансформатор $Тр1$ и диод $B6$ подаются на управляющий электрод тиристора $T1$, вызывая его отпирание в импульсном режиме.

Аналогичным образом блокинг-генераторы $BГ2$ и $BГ3$ управляют тиристорами $T2$ и $T3$.

Среднее значение выпрямленного напряжения, приложенного к якорной цепи двигателя, зависит от времени работы блокинг-генераторов в течение соответствующих полупериодов питающего напряжения и определяется, таким образом, величиной напряжения, поступающего с выхода усилителя постоянного тока на входы блокинг-генераторов. Если напряжение на конденсаторе $C4$ равно нулю, то выпрямитель заперт и напряжение, подводимое к якору двигателя, также равно нулю. Величина напряжения на конденсаторе $C4$ определяется эталонным напряжением, снимаемым с потенциометра $R29$.

Для поддержания постоянства скорости двигателя независимо от тока нагрузки в системе регулирования используется положительная обратная связь по току. При увеличении тока нагрузки возрастает падение напряжения в якорной цепи, что может вызвать уменьшение скорости двигателя. Для восстановления скорости необходимо повысить подводимое к якору напряжение. Это достигается с помощью магнитного усилителя $MУ$, управляющая обмотка которого включена в якорную цепь двигателя.

Увеличение тока якоря вызывает увеличение тока в рабочей обмотке магнитного усилителя. При этом соответственно возрастает падение напряжения на потенциометре $R4$, по которому протекает выпрямленный ток рабочей обмотки магнитного усилителя. С потенциометра $R4$ напряжение подается на эмиттер транзистора $ППЗ$, увеличивая его отрицательный потенциал, что приводит, в свою очередь к уменьшению его коллекторного тока и соответствующему увеличению подводимого к якору двигателя выпрямленного напряжения. Степень компенсации падения напряжения на якорной обмотке двигателя может изменяться перемещением движка потенциометра $R4$.

Для предохранения двигателя и тиристоров от перегрузки, а также для регулирования степени ускорения двигателя в системе используется узел ограничения якорного тока. Максимально возможное значение якорного напряжения устанавливается движком потенциометра $R8$. Пока напряжение на якоре ниже заранее установленной величины, падение напряжения, снимаемое с потенциометра $R8$, выше падения напряжения на сопротивлениях $R3$ и $R4$. При этом транзистор $ПП2$ заперт, так как на его базу

подается положительный потенциал по отношению к эмиттеру.

При достижении якорного напряжения и, следовательно, тока двигателя установленного максимального значения потенциал на базе транзистора *ПП2* становится отрицательным. В результате транзистор отпирается, что приводит к повышению потенциала базы транзистора *ПП1* и соответствующему уменьшению подводимого к якору двигателя выпрямленного напряжения.

В момент пуска двигателя, когда размыкающие контакты контактора *К1* и реле *РП1* еще замкнуты, на базу транзистора *ПП2* подается отрицательный потенциал от источника коллекторного напряжения. Это обеспечивает запирающие тиристоры и соответствующее снижение пускового тока двигателя.

В момент увеличения эталонного напряжения, снимаемого с одного из потенциометров задатчика скорости, на базу работающего в режиме бесконтактного реле $n - p - n$ транзистора *ПП4* через цепочку *R22C6* подается положительное напряжение. При этом указанный транзистор отпирается и практически соединяет базу транзистора *ПП2* с его коллектором, что обеспечивает ограничение якорного тока двигателя при подаче команды на увеличение скорости машины.

Для быстрого замедления скорости двигателя при подаче соответствующей команды от задатчика в схеме используется узел динамического торможения, содержащий транзисторы *ПП5*, *ПП6* и промежуточное реле *РП2*.

При установившейся скорости работы двигателя база транзистора *ПП5* положительна по отношению к его эмиттеру, этот транзистор заперт, а транзистор *ПП6* открыт. Поэтому в исходном состоянии реле *РП2* включено. В момент скачкообразного уменьшения эталонного напряжения задатчика скорости на базу транзистора *ПП5* поступает отпирающий отрицательный потенциал, вследствие чего транзистор *ПП6* запирается и реле *РП2* отпускает. При этом срабатывает контактор динамического торможения *К2*, подключающий параллельно якорной обмотке двигателя сопротивление *R2*. По мере снижения скорости двигателя повышается потенциал базы транзистора *ПП5*. Когда скорость двигателя достигает значения, близкого к заданному, срабатывает реле *РП2* и обесточивается контактор *К2* динамического торможения. Положение движка

потенциометра *R26* определяет перепад скорости двигателя, при котором включается узел динамического торможения.

Контактор динамического торможения срабатывает также в случае останова двигателя при нажатии кнопки *КС* или при размыкании контакта конечного выключателя *ВК*, связанного с программным устройством машины.

Реле максимального тока *РМ*, обмотка которого установлена в якорной цепи двигателя, служит для защиты двигателя от кратковременных перегрузок.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОТОЧНЫХ ЛИНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЧУЛОЧНО-НОСОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Процесс производства чулочно-носочных изделий требует большого числа технологических переходов, оборудования для их осуществления, а также большого числа транспортных операций. Поэтому производительность такого производства может быть существенно повышена лишь при механизации и автоматизации как основных, так и вспомогательных операций, начиная с доставки пряжи и полуфабриката на рабочие места и кончая транспортировкой упакованных изделий на склад готовой продукции. В связи с этим в СССР и за рубежом ведутся работы по созданию механизированных участков и поточных линий по производству чулочно-носочных изделий.

Первая отечественная поточная линия в производстве капроновых чулок разработана во ВНИИЛтекмаше и опробована на Тушинской трикотажной фабрике. В настоящее время ведутся работы по усовершенствованию и широкому внедрению поточных линий в трикотажное производство.

Структурная схема поточной линии *ЛП* приведена на рис. 171. Вдоль двух параллельных рядов круглочулочных автоматов *1* проложены магистральные трубопроводы *4* с приемными воронками *3*, расположенными у каждого автомата. У просмотрового стола *5* магистральные трубопроводы объединены в общую пневмотранспортную магистраль, выходное отверстие которой закрыто при помощи электромагнита крышкой *6*.

Из магистральных трубопроводов вентилятор *10* непрерывно отсасывает воздух, создавая в трубопроводах разрежение. В исходном положении все электромагнитные клапаны *2* у приемных воронок чулочных автоматов пере-

крыты. После наработки изделия на чулочном автомате оно попадает в приемную воронку 3 и с помощью конечного выключателя ВК на станцию управления 22 поточной линией поступает сигнал о наличии изделия в воронке. При этом станция управления вырабатывает командный сигнал и соответствующий электромагнит открывает клапан 2. Под действием давления атмосферного воздуха изделие

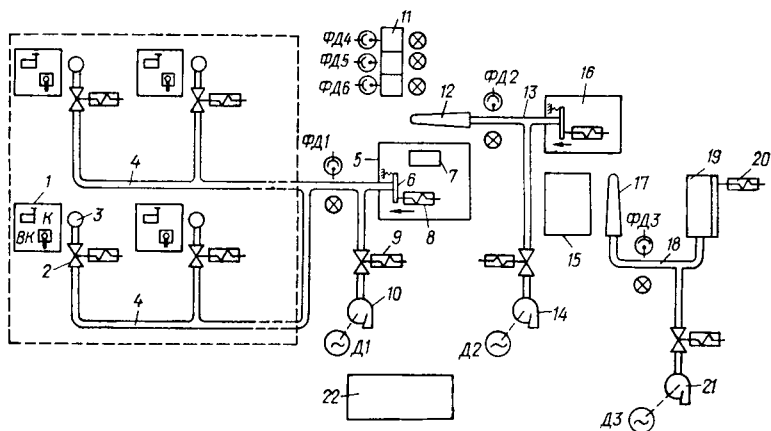


Рис. 171. Структурная схема поточной линии ЛП по производству капроновых чулок.

попадает в магистральный трубопровод и транспортируется воздушным потоком к просмотровому столу 5. Одновременно может быть открыт только один электромагнитный клапан в течение промежутка времени, необходимого для транспортировки изделия к месту просмотра.

Изделие, пролетая по трубопроводу, отклоняет щуп фотоэлектрического датчика ФД1, установленного перед просмотровым столом. По сигналу этого датчика срабатывают электромагниты 8 и 9. Электромагнит 9 перекрывает отсечной клапан, отсоединяя вентилятор 10 от магистрали. Электромагнит 8 открывает крышку 6 трубопровода, и изделие, пролетая оставшуюся часть пути по инерции, выпадает на просмотровый стол 5. После этого электромагниты возвращаются в исходное состояние.

Для просмотра изделия оператор надевает его на специальную поворотную форму 12, а затем при отсутствии брака немного сдвигает его и заправляет конец мыска в отверстие формы.

За счет разряжения воздуха в трубопроводе 13, создаваемого вентилятором 14, изделие засасывается внутрь формы 12, выворачивается наизнанку и транспортируется к приемному столу 16. Одновременно оператор просмотрового стола 5 с пульта 7 производит вызов следующего изделия.

Если же при просмотре изделия обнаружен брак, то оператор снимает его с формы 12 и помещает в одну из трех ячеек браковочного устройства 11. Наличие бракованных изделий контролируется фотодатчиками ФД4, ФД5 и ФД6. При необходимости оператор может со своего пульта 7 остановить автомат, выработавший бракованное изделие.

Выброс изделия из трубопровода 13 на приемный стол 16 осуществляется аналогично выбросу изделия на просмотровый стол.

После сшивки изделия на швейном столе 15 второй оператор надевает его на поворотную просмотровую форму 17. При отсутствии брака изделие транспортируется по пневмопроводу 18 с помощью вентилятора 21 к раскладчику 19. По сигналу от фотодатчика ФД3 срабатывает электромагнит отсечного клапана и электромагнит 20, открывающий крышку раскладчика, откуда в дальнейшем изделие попадает в приемный лоток. После истечения некоторого времени электромагниты возвращаются в исходное состояние, подготавливая систему к приему очередного изделия.

Для пооперационного учета продукции на станции управления установлены три счетчика, которые работают от сигналов фотодатчиков ФД1, ФД2 и ФД3.

Построение схем управления поточными линиями в настоящее время основывается на двух принципах: 1) сбор изделий с чулочных автоматов осуществляется по заранее заданной жесткой программе с последовательным принудительным открытием всех приемных воронок; 2) сбор изделий производится последовательным открытием приемных воронок лишь тех автоматов, которые завершили выработку очередного изделия.

В первом случае переключающее устройство с определенным ритмом поочередно подает управляющие сигналы электромагнитам приемных воронок независимо от степени готовности изделий на чулочных автоматах. Если очередной чулочный автомат завершил выработку изделия, то оно из приемной воронки транспортируется к просмотровому столу. Если же на данном чулочном автомате изделие еще не

готово, то открывается приемная воронка следующего автомата и т. д.

Во втором случае в схему управления от чулочных автоматов поступает информация о завершении выработки изделия и переключающее устройство производит включение электромагнитов приемных воронок в зависимости от полученной информации.

Принципиальная схема передачи информации о готовности изделий применительно к трем чулочным автоматам приведена на рис. 172.

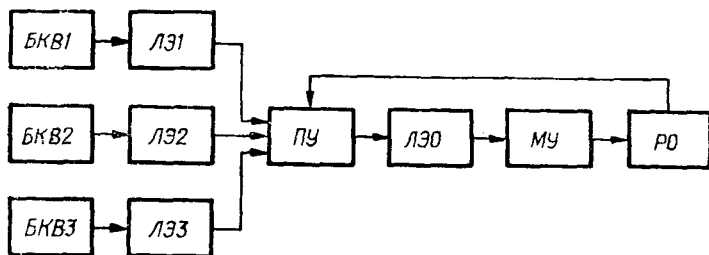


Рис. 172. Принципиальная схема передачи информации о готовности изделий на чулочных автоматах.

В момент окончания наработки изделия на одном из чулочных автоматов его программный барабан вводит пластинку-экран в зазор бесконтактного конечного выключателя *БКВ1—БКВ3*, который при срабатывании посылает импульс на вход соответствующего логического элемента *ЛЭ1, ЛЭ2* и *ЛЭ3*. Этот импульс запоминается логическим элементом до момента подключения к нему переключающего устройства *ПУ*, которое последовательно производит опрос всех логических элементов. При наличии сигнала на выходе одного из логических элементов *ЛЭ1—ЛЭ3* замыкается цепь передачи сигнала на вход логического элемента *ЛЭ0*, управляющего работой магнитного усилителя *МУ*. Нагрузкой магнитного усилителя служит обмотка электромагнитного реле останова *РО*, которое останавливает движение переключающего устройства *ПУ* и обеспечивает включение электромагнитного клапана приемной воронки соответствующего чулочного автомата.

Упрощенная принципиальная электрическая схема управления работой электромагнитных клапанов системы пневмотранспорта поточной линии приведена на рис. 173. Перед включением схемы с помощью переверсивных

магнитных пускателей запускаются в работу электродвигатели вентиляторов системы пневмотранспорта (на схеме рис. 173 не показаны).

При подаче напряжения в схему управления срабатывают реле *P6* и *P8*. Пуск схемы в работу осуществляется кнопкой *KП*. При этом срабатывает реле *P1*, которое включает асинхронный двухфазный сервоэлектродвигатель *Д* и подключает питание к цепям управления шаговыми искателями. Двигатель *Д* при своем вращении периодически с помощью кулачка, воздействующего на конечный выключатель *КВ*, замыкает и размыкает цепь питания реле *P2*, которое, в свою очередь, замыкает и размыкает свой контакт в цепи обмоток шаговых искателей *ШИ1* и *ШИ2*.

Для вызова изделия необходимо нажать кнопку *КВИ*. При этом срабатывает реле *P3*, включающее реле *P5*, и начинается движение шагового искателя *ШИ2*, который выполняет функцию переключающего устройства *ПУ* (см. рис. 172). Если на каком-либо из чулочных автоматов наработано изделие, то в соответствующем положении щеток шагового искателя срабатывает реле останова *РО*, которое своим размыкающим контактом отключает реле *P5*. При этом движение шагового искателя прекращается. Одновременно включается реле *P9* и подается питание в цепь обмоток реле *PK1*, *PK2* и т. д. Реле, цепь которого замкнута щеткой шагового искателя, срабатывает и подает питание в обмотку электромагнита, который открывает клапан приемной воронки чулочного автомата, наработавшего изделие. Изделие под действием тяги воздуха транспортируется к просмотровому столу.

С выдержкой времени около 4 сек, определяемой величиной емкости конденсатора *С3*, реле *P9* отпускает. Благодаря этому включается реле *P7* и отключается реле *P8*, подготавливая к последующей работе шаговый искатель *ШИ1*. Одновременно отключаются цепи всех реле *PK*, и электромагнитный клапан приемной воронки возвращается в исходное состояние.

При подходе к просмотровому столу изделие воздействует на флажок фотоэлектрического датчика, вызывая освещение фоторезистора *ФР1*. В этом случае срабатывает реле *P11*, которое включает на некоторое время, определяемое величиной емкости *С5*, реле *P12*. В результате срабатывает реле *P13*, а затем *P4*. Последнее включает электромагнит *ЭМ1*, открывающий крышку пневмопровода просмотрового

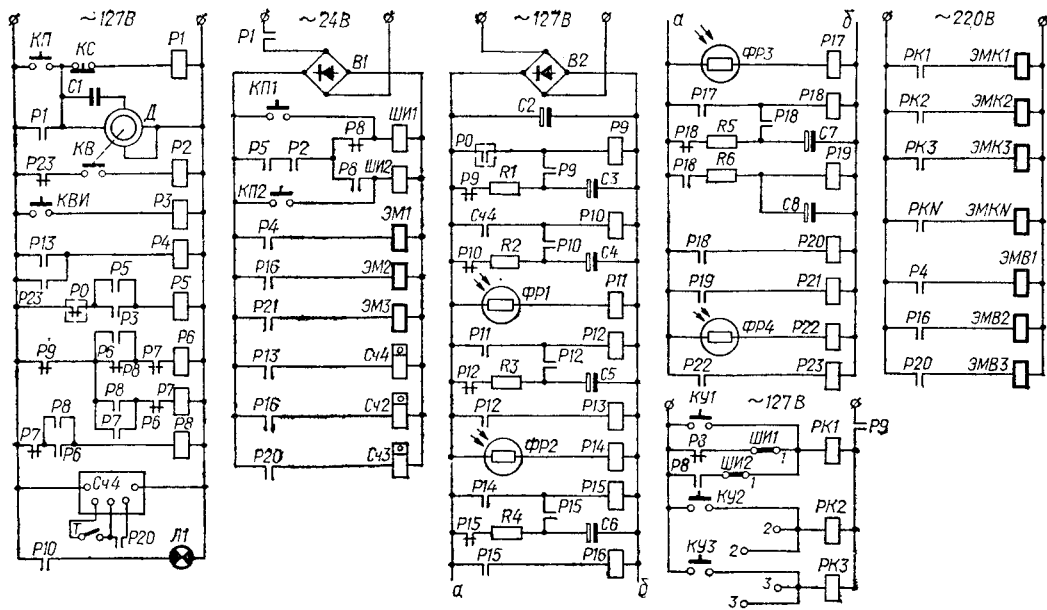


Рис. 173. Упрощенная принципиальная электрическая схема управления поточной линией ЛП.

стола, и электромагнит ЭМВ1, перекрывающий отсечной клапан, отсоединяя вентилятор от пневмомагистрали. Изделие выпадает на просмотровый стол.

Если по какой-либо причине изделие не выпало на стол, то срабатывает реле Р22, обмотка которого включена последовательно с фоторезистором ФР4. Реле Р22 включает реле Р23, замыкающее свой контакт в цепи реле Р4. При этом крышка пневмопровода остается открытой до тех пор, пока из него не будет вынута застрявшее изделие.

При перемещении изделия к приемному столу освещается фоторезистор ФР2, срабатывают реле Р14, Р15, Р16 и электромагниты ЭМ2 и ЭМВ2, обеспечивая выброс изделия на приемный стол. Перемещение изделия к раскладчику контролируется фоторезистором ФР3. При освещении этого фоторезистора последовательно срабатывают реле Р17, Р18 и Р20. Реле Р20 включает электромагнит ЭМВ3, отсоединяющий вентилятор от пневмомагистрали. Скорость движения изделия уменьшается. Реле Р19 срабатывает с выдержкой времени около 2 сек, что обеспечивается подключением параллельно обмотке этого реле конденсатора С8. После срабатывания реле Р19 включается реле Р21 и электромагнит ЭМ3, открывающий крышку раскладчика.

Для вызова следующего изделия необходимо снова нажать кнопку КВИ. При этом начинает работать шаговый искатель ШИ1, осуществляя поиск чулочного автомата, завершившего наработку изделия. Таким образом, происходит чередование работы шаговых искателей ШИ1 и ШИ2.

При каждом срабатывании промежуточных реле Р13, Р16 и Р20 включаются электромагнитные счетчики Сч1, Сч2 и Сч3, осуществляющие пооперационный учет изделий. Для комплектования партии изделий используется реле счета импульсов Сч4, контакт которого замыкается после поступления заранее установленного числа импульсов. При этом включается реле Р10 и сигнальная лампа Л1. Остальные цепи сигнализации на схеме не показаны.

ЛИТЕРАТУРА

Абрамов С. А. Химическая технология отделки трикотажных изделий. М., «Легкая индустрия», 1966.

Аваев С. А. и Зингман А. А. Основы автоматизации технологических процессов в текстильной и легкой промышленности. М., Ростехиздат, 1961.

Браммер Ю. А., Пашук И. Н. Импульсная техника. М., «Высшая школа», 1971.

Гарбарук В. Н. Расчет и конструирование трикотажных машин. М.—Л., «Машиностроение», 1966.

Гинзбург С. А., Лехтман И. Я., Малов В. С. Основы автоматики и телемеханики. М., «Энергия», 1968.

Гуревич С. Л. и др. Технологические измерения и контрольно-измерительные приборы в легкой промышленности. М., «Легкая индустрия», 1968.

Клюев А. С. Автоматическое регулирование. М., «Энергия», 1967.

Колосов С. П., Калмыков И. В. и Нефедова В. И. Элементы автоматики. М., «Машиностроение», 1970.

Лещенко В. Г., Бродягин В. Г., Котельников Е. Л. Автоматизация технологических процессов чулочно-носочного производства. М., ЦНИИТЭлегпишемаш, 1969.

Луцык В. И. Фотоэлектронное устройство ФЭМООН для автоматического останова быстроходных основовязальных машин при обрыве нити.— Известия высших учебных заведений. «Технология легкой промышленности». Киев, 1958, № 1.

Майзель М. М. Автоматика, телемеханика и системы управления производственными процессами. М., «Высшая школа», 1972.

Майзель М. М., Смирнов С. М. Технологические измерения и приборы легкой промышленности. М., «Машиностроение», 1971.

Малышков М. М. Электроника в текстильной промышленности. М., «Легкая индустрия», 1967.

Маричев Р. Д. Электрооборудование трикотажных предприятий. М., «Легкая индустрия», 1971.

Мильман Я. В., Швырев С. С. Автоматизация технологических процессов текстильной промышленности. М., «Машиностроение», 1971.

Молчанов А. С., Хавкин В. П. Автоматическое регулирование и регуляторы в текстильной и легкой промышленности. М., «Легкая индустрия», 1970.

Радзиевский В. А., Бондарь В. М. Автоматическое регулирование и контроль нитеподачи на быстросходных основовязальных машинах. М., «Легкая индустрия», 1971.

Радченко Л. Н., Блажнова Т. И. Универсальная сушильно-ширильно-стабилизационная машина. М., «Легкая индустрия», 1967.

Рего К. Г. Конспект лекций по курсу «Основы автоматизации производства». Киев, КЗТЛП, 1963.

Рего К. Г., Белозуб В. В., Федоренко В. А. Автоматизация доводки игольницы до нижнего положения на машинах СК-54.— Известия высших учебных заведений. «Технология легкой промышленности». Киев, 1960, № 6.

Свириденко П. А., Шмелев А. Н. Основы автоматизированного электропривода. М., «Высшая школа», 1970.

Чиликин М. Г. Общий курс электропривода. М., «Энергия», 1971.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава 1. Элементы систем автоматического управления технологическими процессами	5
Общие характеристики элементов автоматки	5
Измерительные элементы	8
Исполнительные элементы	21
Магнитные усилители	28
Электронные усилители	35
Электронные и фотозлектронные контактные реле	39
Электронные генераторы	42
Импульсные устройства	44
Глава 2. Схемы управления электроприводами трикотажных машин	52
Типовые схемы управления электродвигателями переменного тока	53
Типовые схемы управления электродвигателями постоянного тока	58
Схемы управления электроприводами чулочно-носочных автоматов	60
Схемы управления электроприводами кругловязальных машин	69
Схемы управления электроприводами плоскофанговых машин	79
Схемы управления электроприводами основовязальных машин	82
Схемы управления электроприводами сновальных машин	87
Глава 3. Приборы автоматического контроля технологических параметров	90
Основные измерительные схемы приборов автоматического контроля	90
Электронные автоматические измерительные и регистрирующие приборы	95
Приборы для измерения температуры	101
Приборы для измерения давления	103
Приборы для измерения количества и расхода веществ	105
Приборы для измерения влажности газов и твердых тел	107
Приборы для измерения натяжения нитей	112

Приборы для измерения величины и скорости подачи нитей	116
Фотоэлектронное устройство ФЭМООН для автоматического останова быстроходных основовязальных машин при обрыве нити	121
Глава 4. Автоматическое регулирование технологических параметров трикотажного производства	124
Основные понятия теории автоматического регулирования	124
Основные свойства объектов регулирования	131
Свойства объектов регулирования трикотажного производства	138
Передаточные функции и частотные характеристики элементов и систем автоматического регулирования. Структурные схемы	149
Позиционные регуляторы	157
Автоматические регуляторы непрерывного действия	164
Рекомендации по выбору типа регулятора и его настроек	185
Автоматическое регулирование нитеподачи на трикотажных машинах	189
Глава 5. Примеры схем автоматизации технологических процессов трикотажного производства	199
Автоматизация процессов крашения трикотажных изделий	199
Автоматизация отделки чулочных изделий	206
Автоматизация сушки трикотажного полотна	213
Автоматическое регулирование скорости котонных машин	220
Автоматизация поточных линий в производстве чулочно-носочных изделий	228
Л и т е р а т у р а	235

*Виталий Маркович Бондарь, канд. техн. наук,
Лариса Михайловна Геранина, инж.*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редактор издательства *Л. П. Денисенко*
Переплет художника *Г. Т. Конева*
Художественный редактор *Б. М. Бойко*
Технический редактор *Н. А. Бондарчук*
Корректор *Т. Е. Царинская*

Сдано в набор 30. III 1973 г. Подписано к печати 23.XI. 1973 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Объем: 7,5 физ. л.; 12,6 усл. л.; 12,78 уч.-изд. л. Тираж 2500. БФ 06655. Зак. № 4-123. Цена 93 коп. Издательство «Техніка», 252601, Киев, 1, ГСП, Пушкинская, 28

Отпечатано с матриц Головного предприятия республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, Киев, Довженко, 3 на Харьковской книжной фабрике «Коммунист» республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, Харьков, ул. Энгельса, 11.

Уважаемые читатели!

В издательстве «Техніка» в ближайшее время выходит книга:

ИСПИРЯН Г. П., РОЖОК В. Д. Математические методы в планировании и управлении на предприятиях легкой промышленности.

Язык русский, 15 лист., цена 1 руб. 10 коп.

В книге изложены экономико-математические методы и модели для решения задач по организации, планированию и управлению на предприятиях легкой промышленности, а именно — определение оптимальной производственной программы, оптимальное использование сырья и основных материалов, управление запасами, календарное планирование и другие задачи, которые в настоящее время интенсивно разрабатываются отраслями легкой промышленности. Особое внимание уделено методике построения экономико-математических моделей и решению конкретных задач.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников предприятий легкой промышленности, а также может быть полезна студентам вузов легкой промышленности.

Для оформления заказа на эту книгу следует обратиться в местный магазин или непосредственно в издательство.

Наш адрес: 252601, г. Киев, 1, ГСП, ул. Пушкинская, 28.

Издательство «Техніка»

93 коп.

82133

04

24875

