

Лекция 3

Управление станками

СЛЕДЯЩИЙ ПРИВОД ПОДАЧИ

Привод подачи — один из основных узлов, определяющих производительность и точность станка с ЧПУ. Поскольку УЧПУ практически безынерционно формирует сигналы управления приводом, обеспечивающие движение по заданной траектории или позиционирование в заданной координате, большое значение приобретает совершенствование параметров исполнительного двигателя и схемы управления им с учетом особенностей кинематической цепи привода.

По мере совершенствования в УЧПУ увеличения жесткости и точности узлов станка повышаются требования к быстродействию и точности привода подачи: скорость быстрых перемещений в современных многоцелевых станках доведена до 10—12 м/мин, а дискретность перемещений — до 1 мкм.

Указанным требованиям удовлетворяют приводы и двигатели, разработанные специально для станков с ЧПУ. Высокими показателями характеризуется тиристорный привод с низкоскоростным высокомоментным двигателем постоянного тока и возбуждением от высокоэнергетических магнитов. Этот двигатель, имеющий большой момент инерции, обеспечивает хорошие динамические характеристики, полученные в результате использования (для возбуждения) высокоэнергетических керамических магнитов, выдерживающих 10—15-кратные пиковые моменты без размагничивания. Значительная масса и теплоемкость ротора позволяют достаточно долго (до 30 мин) выдерживать значительные перегрузки.

В приводах с высокомоментными двигателями во многих случаях отпала необходимость в редукторе или значительно упростилась его конструкция, что уменьшило динамическую нагрузку приводного механизма и ее влияние на переходные процессы. Поэтому указанный привод не требует особо точной регулировки при его монтаже на станке. Высокий КПД современных винтовых передач и направляющих обеспечивает ускоренные перемещения при кру-

тящем моменте привода, равном 15—20% номинального крутящего момента, необходимого для процесса резания. В то же время резание с большими усилиями возможно лишь при скорости, равной 15—20% скорости быстрого перемещения. Эти особенности и определяют специфику создания привода подач станков.

Стремление снизить потери мощности и потери на нагрев, увеличить надежность и упростить обслуживание обусловило замену гидравлических следящих и шаговых приводов на электрические следящие приводы с высокомоментными двигателями постоянного тока.

Привод подач управляется по детерминированной заранее заданной УП, определяющей входные сигналы в функции времени по каждой координате, что позволяет заранее компенсировать систематические погрешности, а также формировать в УП входные воздействия, минимизирующие переходные процессы.

Следящий привод имеет, как минимум, два датчика обратной связи—по скорости (тахогенератор) и по пути. Тахогенератор всегда устанавливают на вал двигателя подачи, при этом часто встраивают непосредственно в двигатель. Что касается датчика обратной связи по пути, то существуют три варианта его установки, в зависимости от которых различают и структурные схемы следящих приводов (рис. 3.1).

В станках нормальной точности датчик обратной связи по пути выполняют круговым и устанавливают на ходовой винт или на вал двигателя (рис. 3.1, *а*); поскольку пара винт — гайка не охвачена обратной связью, погрешности этой пары переносятся на изделие. Систематическую слагающую этих погрешностей, повторяющуюся стабильно, можно компенсировать с помощью заранее программируемых корректирующих сигналов. Следящие приводы с такой структурной схемой, называемой схемой с полузамкнутым контуром обратной связи по положению, обеспечивают точность позиционирования ± 10 мкм.

В микропроцессорных системах ЧПУ обратные связи по пути замыкаются в УЧПУ, а обратные связи по скорости — в блоке управления приводом. Таким образом, в следящих системах используют регулируемый привод с введением обратной связи по пути. На выходе УЧПУ формируется сигнал постоянного тока с максимальными значениями ± 10 В, величина сигнала которого соответствует рассогласованию между заданным и отработанным перемещением. Кроме этого УЧПУ выдает сигнал компенсаций скорости.

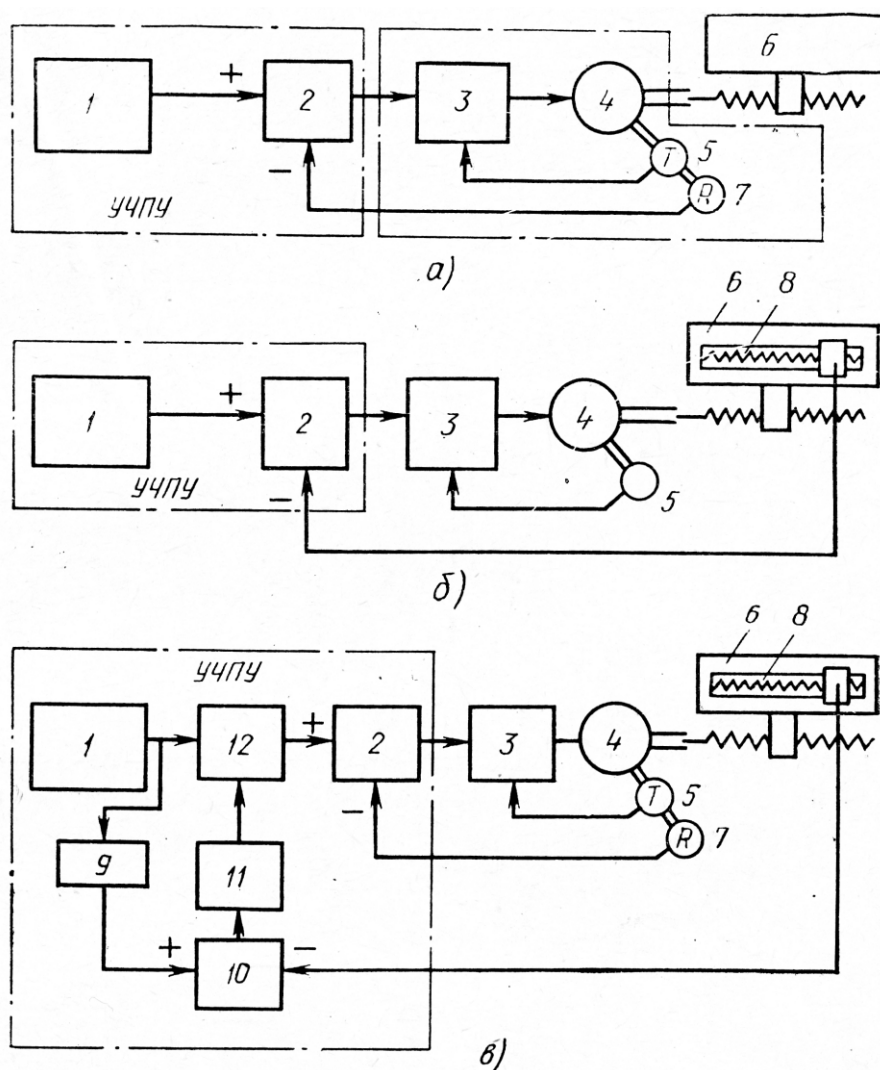


Рис. 5.19. Структурные схемы следящих приводов:

a — с полузамкнутым контуром обратной связи по пути; *б* — то же с замкнутым контуром; *в* — с гибридной схемой обратной связи; 1 — основной блок УЧПУ, 2 — узел управления приводом, 3 — блок привода, 4 — двигатель подачи, 5 — тахогенератор, 6 — стол станка, 7 — круговой датчик обратной связи по пути, 8 — линейный датчик обратной связи по пути, 9 — задание перемещения, 10 — блок программно или аппаратного сравнения, 11 — задание дополнительного перемещения, 12 — блок суммирования

В прецизионных станках устанавливают на столе станка высокоточный линейный датчик δ (рис. 3.1, б). Такая структурная схема называется замкнутой по положению. При этой схеме зазоры в кинематической цепи и упругие деформации влияют на колебания привода.

Поэтому в ряде случаев (например, в тяжелых станках) применяют гибридную схему обратной связи (рис. 3.1, в), в которой используют два датчика: круговой, установленный на вал двигателя или ходовой винт, и линейный, установленный на стол станка.

При этом круговой датчик используют для позиционирования, а линейный — для автоматической коррекции погрешностей кинематической цепи.

Для улучшения показателей следящих приводов в блок управления устанавливают релейные регуляторы, обеспечивающие высокий коэффициент усиления во всем диапазоне частот вращения при отсутствии перерегулирования.

Привод подачи выбирают с учетом моментов инерции элементов кинематической цепи и нагрузки, нагрузочных моментов (резания и холостого хода), скоростей перемещения и времени переходных процессов (пуска, торможения, реверса).

Приведенный к валу двигателя момент инерции $J_{пр}$ определяется по формуле

$$J_{пр} = J_p + \frac{J_2}{i^2} + m \left(\frac{S}{2\pi} \right)^2 \frac{1}{i^2},$$

где J_p — суммарный момент инерции ротора электродвигателя и закрепленных на валу электродвигателя элементов передачи, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; J_2 — суммарный момент инерции вала II с винтом, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; m — масса рабочего органа станка совместно с деталью, кг ; S — шаг винта, м ; $i = n_I / n_{II}$ — передаточное отношение редуктора; в случае отсутствия редуктора $i = 1$. Приведенный к валу момент холостого хода (сил трения) равен

$$M_c = M_{xx} + (S/2\pi) F_{тр}/(\eta_p \eta_{ш} i),$$

где $M_{\text{ХХ}}$ — момент холостого хода редуктора и шариковой пары, Н·м; — сила трения в направляющих рабочего органа станка, Н; η_p и $\eta_{\text{ш}}$ — кпд редуктора и шариковой передачи соответственно, %.

$$M_{\text{нг}} = M_{\text{с}} + (S/2\pi) F_p / (\eta_{\text{ш}} \eta_p i),$$

где $M_{\text{нг}}$ — суммарный приведенный момент сил трения и резания, Н·м; F_p — сила сопротивления на рабочем органе, возникающая от составляющей силы резания, Н.

В случае применения в приводе передачи зубчатое колесо — рейка также можно пользоваться указанными формулами приведения с учетом того, что условный радиус приведения винтовой передачи $S / 2\pi$ должен быть заменен на радиус делительной окружности зубчатого колеса, зацепленного с рейкой.

В случае, если задано время переходного процесса в приводе, то следует вычислить средний интегральный момент электродвигателя M_1 , необходимый для обеспечения времени разгона:

$$M_1 = 1,105 \cdot (J_{\text{пр}} \cdot n_{\text{бх}} / t_p) + M_{\text{с}},$$

где t_p — заданное время разгона, с; $n_{\text{бх}}$ — частота вращения вала электродвигателя на быстром ходу ($n_{\text{бх}} = v_{\text{бх}} / S$), об/мин.

Время торможения обычно меньше времени разгона, так как момент сопротивления суммируется с тормозным моментом электродвигателя. Электродвигатель выбирают из условия $M_1 \leq M_{\text{ср.д}}$, где $M_{\text{ср.д}}$ — средний динамический момент электродвигателя, определяемый по кривой допустимых моментов в переходном процессе.

При этом следует учитывать, что максимальный момент электродвигателя в нижнем диапазоне частот вращения определяется кратностью отсечки тиристорного преобразователя.

Допустимый момент M_2 для заданного времени работы электродвигателя должен быть не меньше момента нагрузки $M_{\text{нг}}$: $M_2 \geq M_{\text{нг}}$. Последний находят в зависимости от продолжительности работы и продолжительности включения (ПВ) по кривым допустимых моментов при работе в продолжительности $S1$, кратковременном $S2$ или повторно-кратковременном $S5$ режимах.

Если электродвигатель работает в повторно-кратковременном режиме со значительно изменяющейся нагрузкой, то допустимый момент M_2 выбирается по циклограмме работы как среднеквадратичный:

$$M'_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i^2 \cdot t_i)}{\sum t}},$$

где M_i – значение момента электродвигателя в промежутке времени t_i ;
 $\sum t$ – время работы двигателя, с.

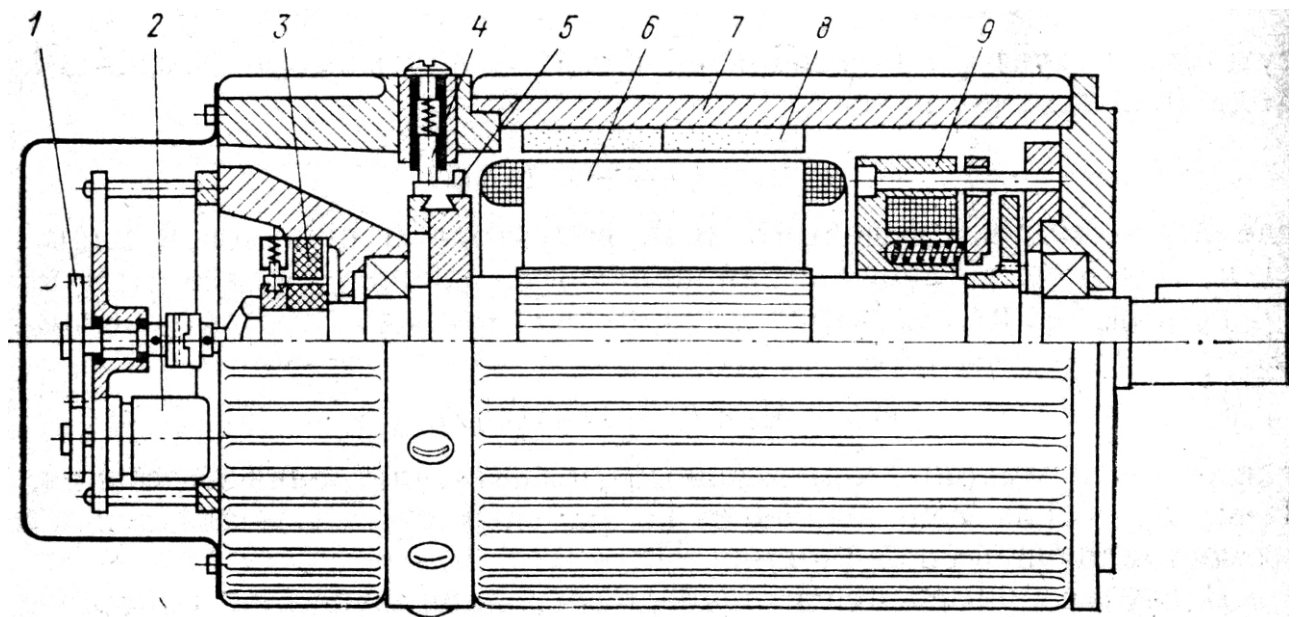


Рис. 3.2. Высокомоментный двигатель: 1 — повышающая передача (мультипликатор) резольвера, 2 — резольвер, 3 — тахогенератор постоянного тока, 4, 5 — коллекторы, 6 — ротор, 7 — корпус статора, 8 — ферритовые полюсы, 9 — электромагнитный тормоз

Среднее время переходных процессов определяют по формуле:

$$t_n = I_{\text{пр}} \frac{\Delta\omega}{M_{\text{срз}} \mp M_{\text{с}}},$$

где $\Delta\omega = 0,105/(n_1 - n_2)$ - разница между наибольшим и наименьшим значениями скорости вала электродвигателя за время переходного процесса, рад/с.

Момент сопротивления $M_{\text{с}}$ имеет знак «плюс» для процесса торможения и знак «минус» для процесса разгона.

СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММИРУЕМЫЕ КОМАНДОАППАРАТЫ

СТРУКТУРА СИСТЕМ ЦИКЛОВОГО УПРАВЛЕНИЯ

Системой циклового программного управления (ЦПУ) называют комплекс устройств, в котором программируется цикл (последовательность) работы технологического оборудования (станка или промышленного робота), а величины перемещений рабочих органов задаются с помощью предварительно настраиваемых путевых выключателей. Таким образом, программа работы вводится в двух местах: на пульте управления и на станке. Настройка путевых переключателей (обычно кулачков) выполняется оператором и является довольно трудоемким процессом. Поэтому станки с ЦПУ применяют в массовом и крупносерийном производстве.

Циклом работы оборудования называют совокупность элементарных рабочих и вспомогательных операций, называемых этапами цикла. Они осуществляются в определенной последовательности, необходимой для выполнения оборудованием рабочих функций.

Этап цикла — простейшая нерасчленяемая часть цикла. В течение отработки этапа цикла не происходит никаких изменений (включений или отключений) в действии или состоянии рабочих и вспомогательных органов оборудования. Этап цикла также часто называют тактом работы схемы (термин «такт работы схемы» полностью эквивалентен термину «этап цикла», применяемому в релейных схемах). В цикловых системах кроме управления в функции пути с помощью кулачков-упоров применяется также управление по некоторым другим параметрам (времени, температуре, давлению и т. п.).

Следует указать, что элементы циклового управления используются также в системах ЧПУ для задания движения вспомогательных механизмов. Например, в гибких производственных модулях (ГПМ) используется цикловое управление для задания цикла работы магазина инструментов, ориентации приспособлений-спутников поворотных столов и т. д. При этом программа цикла вводится в УЧПУ, а отработка его определяется настройкой путевых

конечных выключателей. В таких цикловых системах перенастройка путевых выключателей производится крайне редко или вообще не производится. Гибкость цикла определяется возможностями УЧПУ. Вместо путевых выключателей применяют также бесконтактное считывание кодовых меток, которые расшифровывает УЧПУ,

Автономное устройство ЦПУ (рис. 3.3) содержит три основных блока: задания программы циклов (память циклов); ввода программ; узел путевых датчиков (Д). Кроме того, в систему ЦПУ входит силовая электроавтоматика (ЭА) и исполнительный привод (П), перемещающий узлы механизма (М).

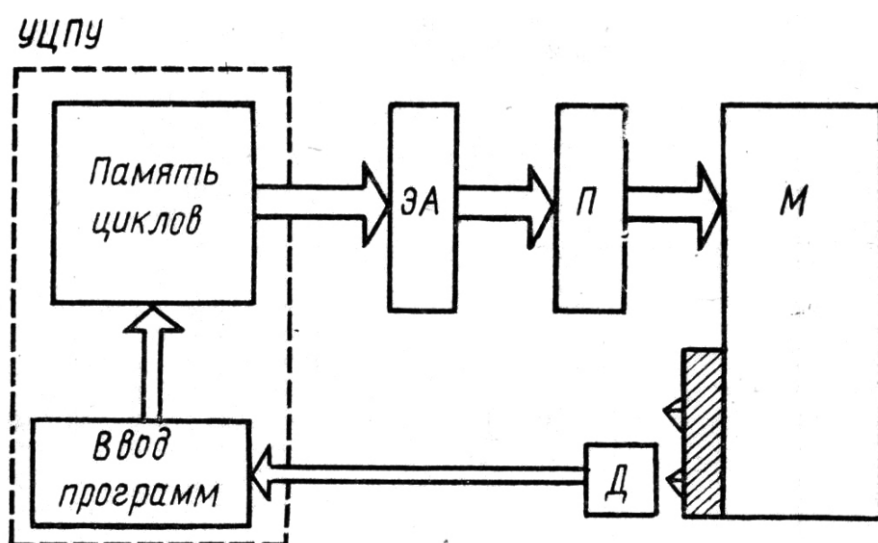


Рис. 3.3. Структурная схема системы ЦПУ

Блоки ЦПУ могут выполняться на основе электрических, пневматических или гидравлических элементов. Блоки задания и ввода программы являются носителями информации о цикле; они во многих случаях изготавливаются в виде штекерной наборной панели.

Наиболее совершенные системы ЦПУ выполняются с использованием программируемых командоаппаратов (ПК). Принцип работы ПК будет рассмотрен ниже.

В случае задания программы на наборной панели блок поэтапного ввода выполняется в виде электронной или релейной счетно-распределительной схемы. В тех случаях, когда устройство циклового управления входит в состав

системы ЦПУ, задание цикла обычно выполняется с помощью основного программноносителя или декадных переключателей.

Блок силовой электроавтоматики предназначен для усиления и размножения команд, поступающих на исполнительные элементы системы от блока задания программы. Сильноточные элементы автоматики выполняются с использованием контактных (пускатели, контакторы) или бесконтактных (тиристоры, денисторы и т. д.) аппаратов.

Исполнительное устройство обеспечивает отработку заданных программой команд и состоит из исполнительных элементов системы ЦПУ и рабочих органов станка.

Блок задания перемещения, расположенный на исполнительном механизме, выдает сигнал окончания этапа программы и переключения на следующий этап. Наиболее часто применяют путевые переключатели. Задание перемещения с помощью реле времени осуществляют в тех случаях, когда другие датчики применить трудно и когда время отработки данного этапа программы не изменяется.

При работе станка с ЦПУ от устройства задания программы поступает командная информация в устройство автоматики, которое обеспечивает управление исполнительными элементами, перемещающими рабочие органы станка. После отработки всех этапов программы, входящих в цикл, работа системы ЦПУ повторяется в том же порядке.

БЛОК ЗАДАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ УЗЛОВ СТАНКА

Как уже указывалось, при ЦПУ размерная настройка осуществляется расстановкой кулачков (упоров), воздействующих на путевые переключатели во время перемещения рабочих органов станка. При срабатывании путевого переключателя выдается команда на изменение траектории движения или режима резания.

Блок задания перемещения состоит из двух узлов: переключателей; путевых упоров. Первый узел состоит из микропереключателей, объединенных

в общий корпус (рис. 3.4); шаг по осям толкателей, как правило, 10 мм. Второй узел представляет собой панель (рис. 3.5, а) или барабан (рис. 3.6) с Т-образными пазами, в которых расставляются кулачки в соответствии с чертежом детали и программой обработки. Кулачки бывают регулируемые (рис. 3.5, б), настраиваемые с помощью регулировочных винтов с лимбом, и нерегулируемые. Точность срабатывания описанного блока задания перемещения $\pm 0,015$ мм.

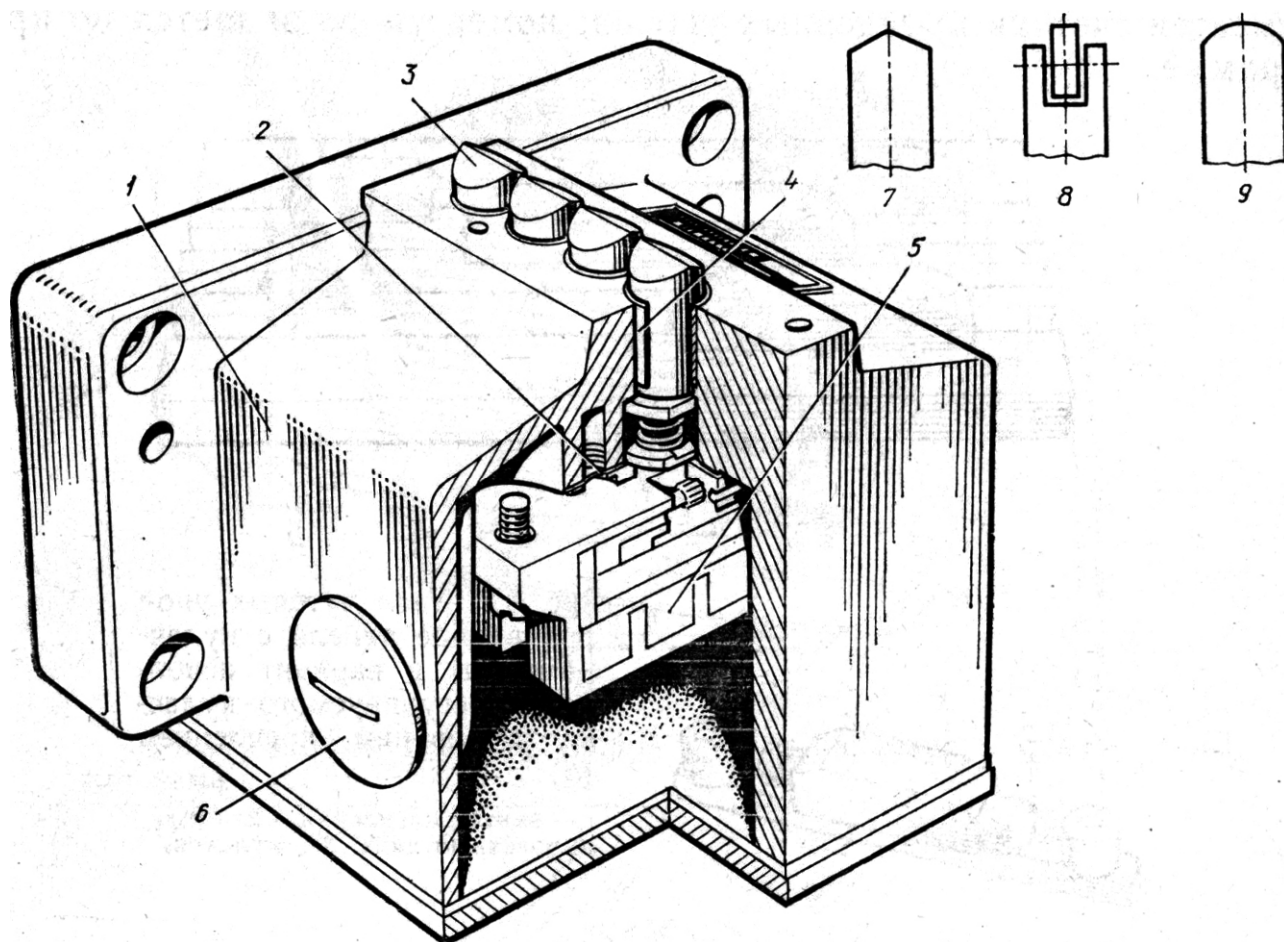


Рис. 3.4. Узел переключателей в разрезе (а) и исполнение толкателя переключателя (б):

1 – корпус, 2 – мембрана для герметизации механизма толкателя, 3 – толкатель со скошенными кромками, 4 – направляющие толкателя, исключающие его разворот, 5 – микропереключатель, 6 – пробка, закрывающая отверстие для выводов, 7, 8, 9 – толкатели: скошенный, с роликом и с полусферой соответственно

В случае, когда требуется высшая точность перемещений (в пределах $\pm 0,01$ мм) при большой частоте срабатывания, используют бесконтактный (индуктивный) путевой переключатель, принцип работы которого основан на

использовании эффекта изменения напряжения высокочастотного генератора при введении в контур индуктивности (ферромагнитной пластины).

Блоки задания перемещений бывают трех типов. Блоки первого типа имеют число переключателей, равное числу пазов, в которых установлены кулачки. Закрепление переключателей за конкретными этапами цикла обработки осуществляют расстановкой штекеров на панели. Блоки второго типа имеют один переключатель и блок путевых упоров, выполненный в виде поворотного барабана (см. рис. 3.6), число пазов которого равно числу его граней. Рабочий паз выбирается поворотом барабана. Эти блоки применяют в основном в станках токарно-револьверной группы (число фиксированных положений барабана равно числу положений револьверной головки). В блоках третьего типа ряд упоров последовательно действует на один переключатель; имеется счетчик пройденных упоров; номер упора задается по программе.

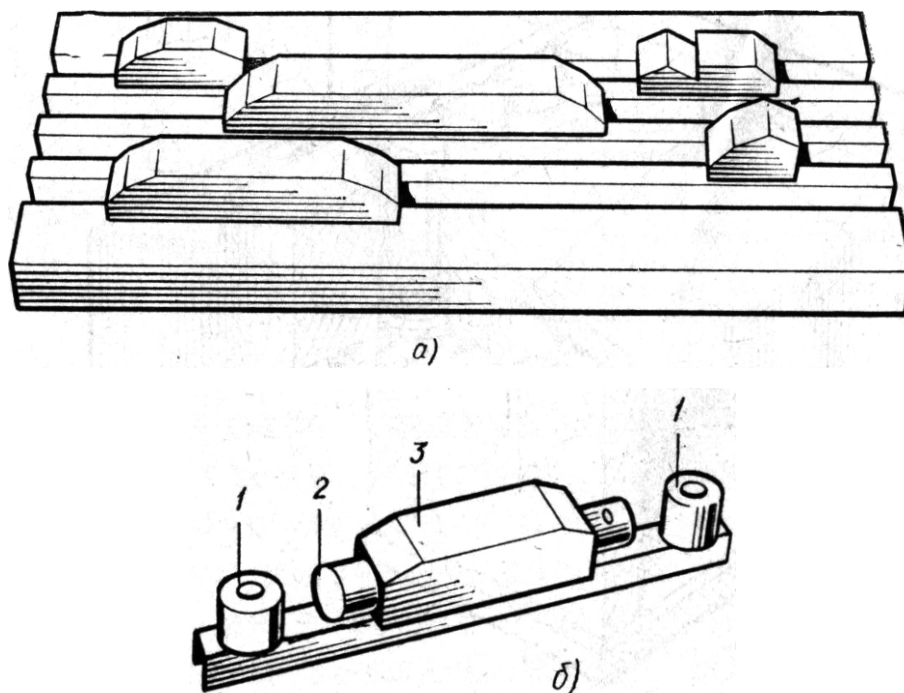


Рис. 3.5. Узел путевых упоров в виде панели с кулачками (а) и вариант исполнения регулируемого кулачка с верхним креплением (б):
1 — винты крепления, 2 — регулировочный винт, 3 — кулачок

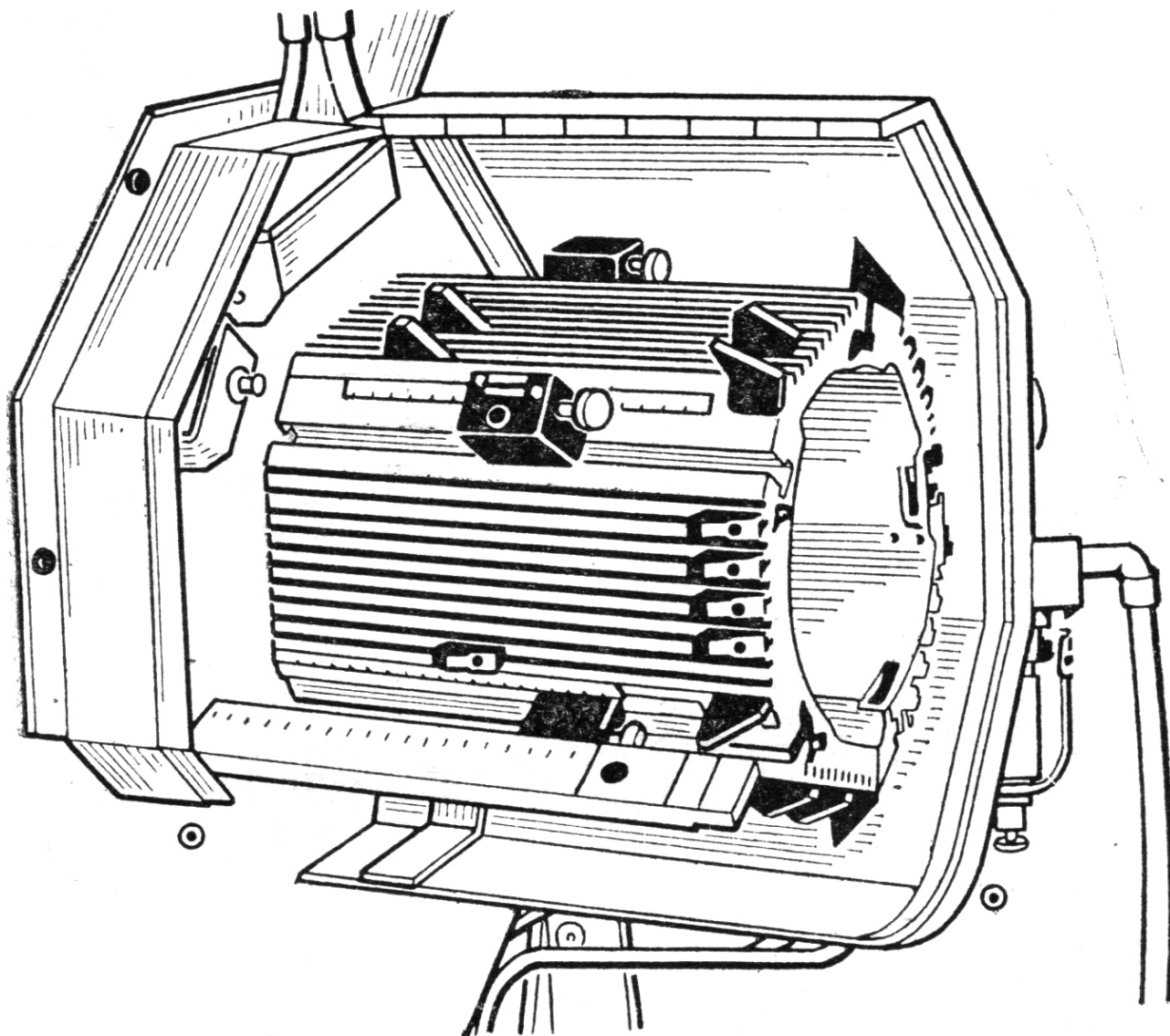


Рис. 3.6. Узел путевых упоров в виде барабана с кулачками

ПРОГРАММИРУЕМЫЕ КОМАНДОАППАРАТЫ

Программируемый командоаппарат (ПК) – устройство, осуществляющее управление электроавтоматикой с помощью определенных алгоритмов, реализованных программой, хранящейся в памяти устройства. ПК может применяться автономно в системе ЦПУ, либо входить в состав общей системы ЧПУ (например, в систему управления гибким производственным модулем). ПК применяют также для управления оборудованием автоматических линий, складов гибких производственных систем и др.

Структурная схема ПК представлена на рис. 3.7. Модули ввода формируют сигналы, поступающие от различных периферийных устройств (путевых датчиков, электрических аппаратов, тепловых реле и т. п.) и защищают (посредством оптронной развязки) электронное оборудование от помех. Сигналы, поступающие на вход, имеют лишь два уровня, соответствующие логическому «0» и «1».

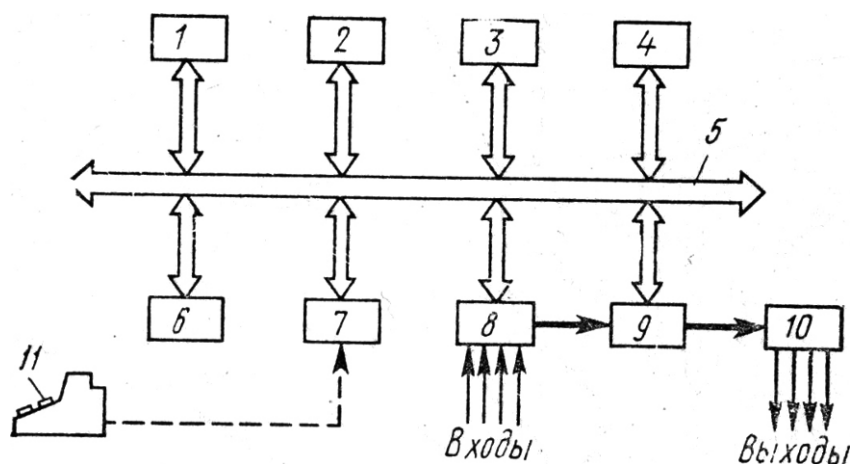


Рис. 3.7. Структурная схема ПК:

1 — процессор, 2 — таймер и счетчики, 3 — перепрограммируемая память, 4 — оперативная память (ОЗУ), 5 — общая шина связи блоков, 6 — блок связи с УЧПУ или ЭВМ, 7 — блок подключения пульта для программирования, 8 — модули ввода, 9 — коммутатор ввода—вывода, 10 — модули вывода, 11 — пульт программирования с клавиатурой и дисплеем

Модули вывода подают сигнал на управляемые исполнительные устройства электроавтоматики станка (контакты, пускатели, электромагниты, сигнальные лампы, электромагнитные муфты и т. п.). Если выходной сигнал равен «1», то соответствующее устройство получает команду на включение, а если «0» — на выключение. В соответствии с параметрами управляемых устройств модули вывода имеют силовые электронные ключи (транзисторные или тиристорные), рассчитанные на различную силу тока (обычно до 2,5 А) и напряжение.

Процессор с памятью решает логические задачи управления модулями вывода на основе информации, поступающей на модули ввода, и алгоритмов управления, введенных в память.

На рис. 3.8 показана упрощенная структурная схема ПК, на которой штрихпунктирной линией обведены узлы, относящиеся к цикловому программированию.

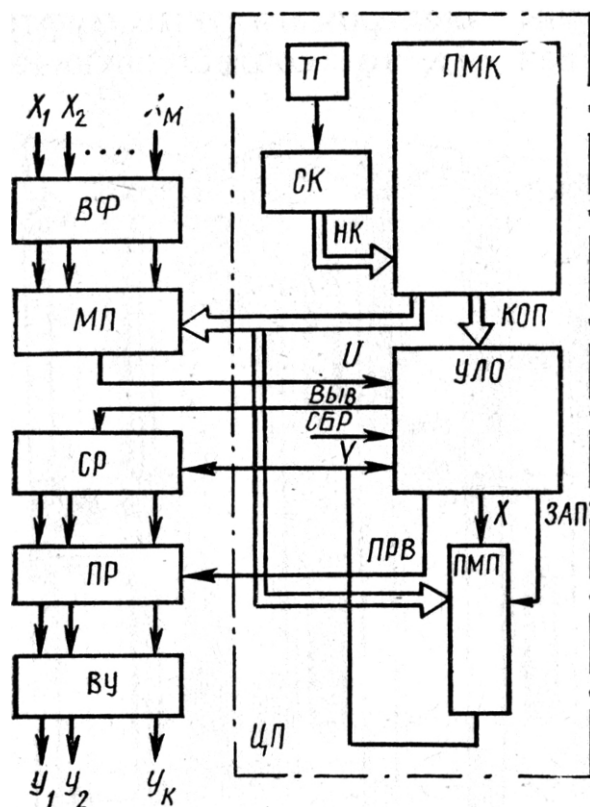


Рис. 3.8. Структурная схема ПК конструкции ЭНИМСа: $(x_1 \dots x_k)$ – вводы, $(y_1 \dots y_k)$ – выводы

Тактовый генератор (ТГ) вырабатывает тактовые импульсы, синхронизирующие работу всех узлов ПК. С одного из выходов ТГ тактовые импульсы с постоянной частотой поступают на вход счетчика команд (СК). При этом на выходах СК последовательно появляются все возможные (для данного числа разрядов СК) двоичные числа, являющиеся номерами команд (НК), которые подаются на адресные входы памяти команд (ПМК). В ПМК хранится программа управления объектом, состоящая из множества команд. Каждая команда занимает одну ячейку в ПМК, поэтому каждому состоянию СК соответствует считывание одной из команд. Таким образом, подача тактовых импульсов на вход СК вызывает последовательное считывание всех команд, хранящихся в ПМК. После считывания последней команды (т. е. содержимого последней ячейки ПМК) счетчик команд переходит в нулевое состояние, при этом считывается начальная команда программы. Затем цикл опроса ПМК повторяется. Этот процесс называется разверткой программы, а каждый его период — циклом ПК.