Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра электропривода
и автоматизации
промышленных установок

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Конспект лекции
для студентов специальности 5В071800

Алматы 2016

СОСТАВИТЕЛИ: Ю.И. Шадхин, Ж.Ж. Тойгожинова. Элементы автоматизированного электропривода. Конспект лекции для студентов специальности 5В071800. – Алматы: АУЭС, 2016. – 63 с.

Конспект лекций по курсу «Элементы автоматизированного электропривода» разработан в соответствии с рабочей учебной программой и рассчитан на 22 часов для бакалавров специальности 5В071800.

Рассмотрены вопросы основные функциональные свойства силовых и управляющих элементов, входящих в состав автоматизированного электропривода. Дано математическое описание регуляторов и датчиков. Рассмотрены структурные схемы и алгоритмы работы простых и комплексных цифровых элементов, а также структура микропроцессора как комплексного элемента высшего функционального уровня.

Конспект лекций предназначен для бакалавров дневной и заочной форм обучения специальностей электроэнергетического направления, а также может быть использован инженерно-техническими работниками, занимающимися вопросами автоматики.

Ил. 46, табл. 2, библ. – 9 назв.

Рецензент: старший преподаватель Б.К. Курпенов

Печатается по плану издания Некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2016 г.

©НАО «Алматнский университет энергетики и связи», 2016 г.

Содержание

	Введение……...	4
1	Лекция №1. Понятия и квалификация элементов, основные координаты и характеристики элементов ……...	5
2	Лекция №2. Управляемые преобразователи напряжения и тока. Генераторы постоянного тока …….....	9
3	Лекция №3. Вентильные преобразователи напряжения постоянного тока ……...	13
4	Лекция №4. Понятия о преобразователях частоты. Трехфазные преобразователи частоты с автономными инверторами……..	21
5	Лекция №5. Логические и вычислительные элементы управления дискретного действия. Типовые цифровые узлы…….	25
6	Лекция №6. Типовые цифровые узлы. Микропроцессор – комплексный цифровой элемент автоматизированного электропривода……	29
7	Лекция № 7. Унифицированные блоки систем управления. Регуляторы. Согласующие элементы……	36
8	Лекция №8. Датчики угла и рассогласования. Датчики скорости. Датчики электрических величин……..	40
9	Лекция №9. Принципы построения цифроаналоговых и цифровых систем автоматического управления электроприводами……	50
10	Лекция №10. Аналоговые и цифроаналоговые системы управления положением позиционного электропривода…….	54
11	Лекция №11. Цикловые системы программного управления электроприводами…….	57
	Список литературы…….....	63

Введение

В настоящее время любой производственный механизм приводится в действие автоматизированным электроприводом, основным элементом которого является электрический двигатель. При помощи преобразовательных и управляющих устройств формируются требуемые статические и динамические характеристики исполнительных органов рабочей машины. Электрическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного и управляющего устройств, предназначенная для приведения в движение и управления исполнительным органом рабочей машины, называется электрическим электроприводом.

В целом, электрический привод состоит из трёх частей: электрического двигателя, осуществляющего электромеханическое преобразование энергии, механической части, передающей энергию рабочему органу машины и системы управления, обеспечивающей оптимальное по тем или иным критериям управление технологическим процессом. Характеристики двигателя и возможности системы управления определяют производительность механизма, точность выполнения технологических операций, динамические нагрузки механического оборудования и ряд других факторов.

С другой стороны, нагрузка механической части привода, условия движения её связанных масс, точность передач и прочее, оказывают влияние на условия работы двигателя и системы управления, поэтому электрические и механические элементы автоматизированного электропривода образуют единую электромеханическую систему, составные части которой находятся в тесном взаимодействии. Развитие автоматизированного электропривода во многом зависит от совершенствования элементов электропривода и её системы управления. Важной функцией электропривода является обеспечение защит, блокировок и сигнализации при работе технологического оборудования. Для этого в структуру электропривода вводятся элементы и устройства, предотвращающие неправильную последовательность операций или ошибочные действия оператора и осуществляющие ограничение хода исполнительных органов, останов машины или механизма при возникновении аварийной ситуации.

1 Лекция №1. Понятия и квалификация элементов, основные координаты и характеристики элементов

Содержание лекции:
- основные понятия и определения элемента;
- основные координаты и характеристики элементов;
- формирование характеристик элементов.

Цель лекции:
- изучить основные понятия и определения элемента;
- освоить основные координаты и характеристики элементов.

1.1 Основные понятия и квалификация элементов

Элемент автоматизированного электропривода - это не математическая модель или звено, а реальное техническое устройство, выполняющее определенную функцию управления и обладающее относительно простыми свойствами между его входными и выходными величинами. В понятие элемента включены не все элементы, обслуживающие автоматизированную системы, а только те, которые выполняют управляющую функцию. Элемент относительно прост лишь по внешним свойствам, а по внутренним процессам, принципу действия и устройству он может представлять собой весьма сложную физическую систему.

Элементы, составляющие автоматизированную систему (АЭП), изображены в виде структурной схемы на рисунке 1.1. Элементы по энергетическому признаку разделяются на следующие группы:

- силовые элементы, через которые основной поток энергии проходит, преобразуется и подводится к рабочему органу (РО); эти элементы составляют силовую, энергетическую часть АЭП, представленные на рисунке 1.1 в правой части от осевой штрихпунктирной линии;

- управляющие элементы, которые вырабатывают, преобразуют и подводят сигналы управления силовыми элементами, через которые реализуется управление энергетическим потоком; эти элементы составляют информационную часть электропривода (левая часть от осевой штрихпунктирной линии).

К силовым элементам относятся управляемые преобразователи УП, подводящие электрическую энергию к двигателю. Сами двигатели, механические преобразовательные элементы, составляющие кинематическую цепь КЦ, рабочие органы производственных механизмов РО. Двигатель является в АЭП основным силовым элементом. Основным силовым элементом АЭП является двигатель Д. Именно двигатель осуществляет электромеханическое преобразование энергии, что составляет физико - энергетическую сущность электропривода. Поэтому двигатель является главным элементом АЭП.

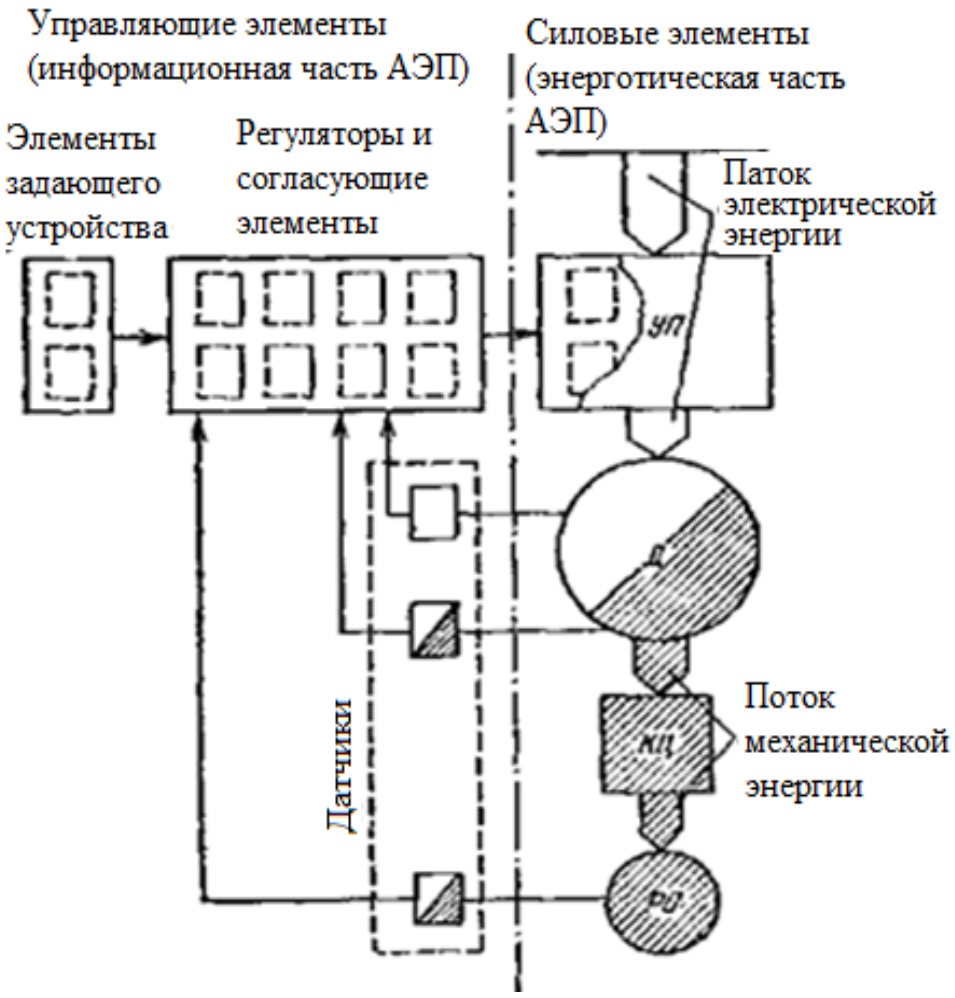


Рисунок 1.1 - Структурная схема АЭП с силовыми и управляющими элементами

К силовому элементу автоматизированного электропривода отнесен и управляемый преобразователь. Данный элемент объединяет в своем понятии большое разнообразие преобразователей. По функциональному признаку их можно подразделять на три категории:

- преобразователи напряжения (источники напряжения);
- преобразователи тока (источники тока);
- преобразователи частоты.

В зависимости от вида преобразования энергии можно выделить преобразователи электромеханические (генераторы постоянного и переменного тока), электромагнитные усилители, индуктивноемкостные источники тока, электрические полупроводниковые преобразователи.

Наиболее многочисленную современную группу преобразователей составляют полупроводниковые преобразователи: тиристорные преобразователи переменного тока в постоянный ток; тиристорные преобразователи постоянного тока с широтно – импульсной модуляцией;

тиристорные и транзисторные преобразователи частоты с автономными инверторами и с непосредственной связью с сетью.

Управляющие элементы по сравнению с силовыми характеризуются большим разнообразием и большей быстротой развития, в особенности, применительно к элементам, построенным на базе микроэлектроники.

В зависимости от места в структуре АЭП управляющие элементы можно разделить на две группы:

- элементы, формирующие задание на движение и определяющие статические и динамические свойства АЭП; эти элементы образуют систему управления электроприводом и являются его неотъемлемой частью;

- элементы, формирующие свойства силового элемента и входящие в его состав неотъемлемой частью; эти элементы при исследовании АЭП отдельно не рассматриваются, а математическое описание силового элемента дается с учетом управляющего элемента в его составе. Управляющие элементы первой группы можно подразделять по функциональному признаку на следующие подгруппы;

- элементы задающего устройства, которые вырабатывают сигналы, формирующие технологическую программу работы АЭП; регуляторы, которые выполняют преобразование сигнала, необходимое для регулирования соответствующей координаты электропривода; датчики, которые преобразуют контролируемую координату в электрический сигнал, используемый как сигнал обратной связи;

- согласующие элементы, которые согласуют входные и выходные координаты соединенных управляющих элементов по техническим характеристикам, роду тока, типу и уровню сигнала. К согласующим элементам могут быть отнесены фазовые детекторы, эмитерные повторители, усилители мощности, цифро – аналоговые и аналого – цифровые преобразователи.

1.2 Основные координаты и характеристики элементов

Общей математической моделью может служить многополюсник, полюсами которого соответствуют внешние координаты элемента (рисунок 1.2). В состав выделенных внешних координат входят x_1, x_2, . . . x_n - входные управляющие воздействия, y – выходные нелинейные, u – возмущающее воэдействие по источнику питания, z - возмущающее воэдействие по нагрузке.

Координатами элемента являются функциональные величины, аналоговые и дискретные, которые могут не совпадать с их физическими носителями. В качестве управляющего воздействия может быть принята фаза, а её физическим носителем является электрический импульс соответствующего напряжения; выходной величиной может быть частота, а её

физической реализацией - напряжение, ток, последовательность импульсов. Внутри элемента можно выделить некоторую величину ν - внутреннюю координату, которая имеет определяющее значение в формировании выходной величины. Для генератора при постоянной угловой скорости ЭДС (выходная величина) определяется результирующей МДС возбуждения, а для тиристорного преобразователя ЭДС является функцией угла открытия тиристоров. Для элементов, выходной величиной которых принята ЭДС или напряжение, возмущающим воздействием по нагрузке z является ток выходной цепи, а возмущением по источнику питания ν - колебания напряжения сети. Будем полагать, что источник питания достаточно мощный и возмущение ν отсутствует, при этом элемент будет характеризоваться тремя внешними координатами X. Y, Z,

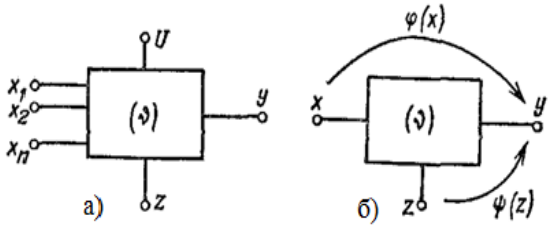


Рисунок 1.2 - Представление элемента многополюсником

где Z – возмущающее воздействие по нагрузке.

Выходная величина представляет собой функцию двух переменных, $y = f(x, z)$. Принимая возмущающее воздействие за неизменный параметр, получаем семейство характеристик:

$$y = \varphi\ (x) \text{ при } z = const, \qquad (1.1)$$

которые будем называть характеристиками управления (рисунок 1.3 а).

Зависимость выходной координаты от входной характеризует управляющее свойство элемента. Если входное воздействие принять за неизменный параметр, а величину z – за аргумент, то функция $y = f(x, z)$ представится другим семейством характеристик (рисунок 1.3 б). Эти зависимости определяют реакцию элемента на нагрузку. Возмущение по нагрузке вносит неоднозначность в функции управления, что отрицательно сказывается на управляющем свойстве элемента, так как нарушается определенность передачи управляющего входного сигнала элементом. Чем меньше наклон внешних характеристик, тем меньше вносятся искажения в характеристики управления. Если $dy/dz = 0$ для всего диапазона заданного изменения величин z и x, то возмущения по нагрузке не влияют на

характеристики управления, при этом семейство кривых вырождается в одну характеристику управления $y = \varphi(x)$, не зависящую от изменения параметра z.

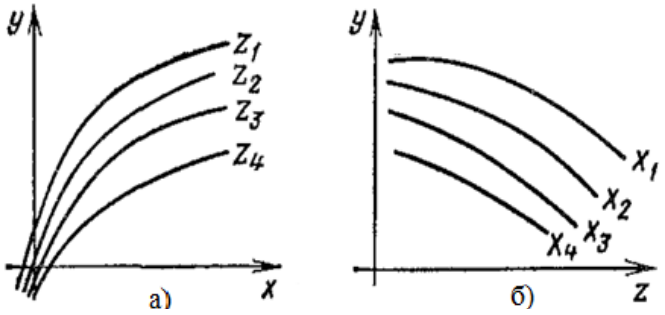


Рисунок 1.3 - Характеристики управления и внешние характеристики элемента

Отсутствие влияния возмущений по нагрузке характерно для элементов управления дискретного действия.

2 Лекция №2. Управляемые преобразователи напряжения и тока. Генераторы постоянного тока

Содержание лекции:
- основные назначение генераторов постоянного тока;
- достоинства и недостатки генератора постоянного тока;
- функциональная и структурная схемы.

Цель лекции:
- изучить основные назначение генераторов постоянного тока;
- изучить функциональную и структурную схемы.

2.1 Генераторы постоянного тока

В системах автоматизированных электроприводов генераторы постоянного тока находят применение как управляемые преобразователи напряжения, питающие двигатели постоянного тока. В энергетическом отношении генератор – электромеханический преобразователь энергии. Механическая энергия, поступающая с вала приводного двигателя, асинхронного или синхронного, преобразуется в электрическую энергию постоянного тока. Достоинства преобразовательного агрегата с генератором постоянного тока:

- линейность преобразования управляющего сигнала в выходную ЭДС в большом диапазоне его изменения;

- отсутствие искажений в напряжении питающей сети переменного тока от работы генератора;

- слабое влияние колебаний напряжения питающей сети на выходы ЭДС генератора;

- возможность работы с высоким и регулируемым коэффициентом мощности.

К недостаткам преобразовательного агрегата следует отнести относительно невысокий результирующий КПД за счет потерь в генераторе и приводном двигателе, большие массогабаритные показатели, значительные затраты на установку преобразовательного агрегата, шум, возникающий при работе агрегата, существенная инерционность в канале управления. Генераторы различаются по конструкции, мощности, эксплуатационным характеристикам. Несмотря на большое разнообразие, генераторы общего назначения имеют и определенные общие показатели:

- у генераторов небольшой и средней мощности (до 100 – 200 кВт) отсутствует компенсационная обмотка;

- все генераторы мощностью более 2 – 3 имеют кВт дополнительные полюсы, число которых равно числу главных полюсов;

- щетки для генераторов устанавливаются на геометрическом нейтрале;

- максимальная перегрузочная способность по току якоря для большинства генераторов равна 2 при продолжительности перегрузки 3 с и 1,5 при продолжительности до 60 с.

Электрическая схема генераторов для общего случая возбуждения приведена на рисунке 2.1. Магнитный поток по продольной оси Φ_a создается МДС обмоток возбуждения – независимой ОВ1, параллельной (шунтовой) ОВ2, последовательной (сериесной) ОВ3. Магнитный поток по поперечной оси Φ_q, создаваемый МДС якорной обмотки генератора G, при наличии компенсационной обмотки ОК практически отсутствует. Магнитный поток $\Phi_{Д.П.}$ от дополнительных полюсов ДП действует в зоне щеточных контактов генератора, улучшая процесс коммутации. Электрическое состояние генератора характеризуется тремя внешними и одной внутренней координатами:

- ЭДС (E_r, e_r) – выходная величина;

- напряжение или пропорциональные ему в статических режимах МДС и ток цепи обмотки независимого возбуждения (U_{B1}, $F_{B1,}$ I_{B1}) - управляющее воздействие по нагрузке;

- ток якорной цепи ($I_я$, $i_я$) - возмущающее воздействие по нагрузке;

- результирующая МДС одного полюса (F) – внутренняя координата.

Строчными буквами обозначены значения соответствующих величин в динамических режимах, а прописными буквами – установившиеся значения.

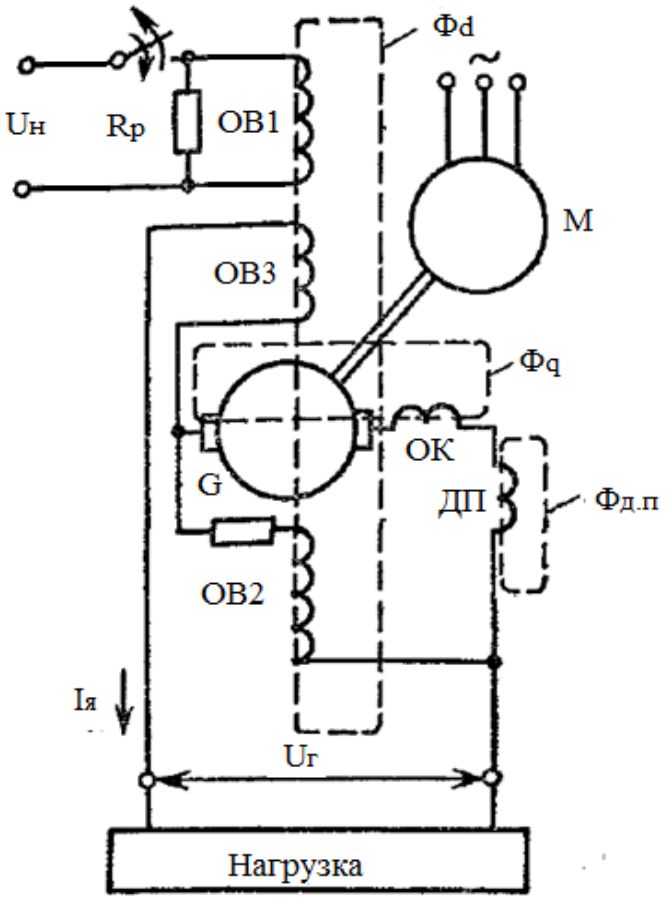


Рисунок 2.1 - Электрическая схема генератора постоянного тока

На рисунке 2.1 МДС и поток возбуждения даются для одного полюса. Взаимосвязь между координатами определяется известным выражением для ЭДС генератора:

$$E_{\Gamma} = \mathrm{k}\omega_{\Gamma}\Phi(\mathrm{F}), \qquad (2.1)$$

где $\mathrm{k} = \mathrm{pN}/2\pi\mathrm{a}$ - конструктивная постоянная машины;

p – число пар полюсов;

a – число пар параллельных ветвей якорной обмотки;

N – число активных проводников якорной обмотки;

ω_{Γ} - угловая скорость генератора (принимается неизменной), рад/с;

$\Phi(\mathrm{F})$ - магнитный поток одного полюса в зазоре машины, являющейся функцией результирующей МДС, Вб.

Передаточный коэффициент по МДС генератора определяется уравнением:

$$k_{rd} = \Delta \mathrm{E}_{\Gamma} / \Delta F_d, \qquad (2.2)$$

а передаточный коэффициент по току относительно одной из обмоток возбуждения имеет вид:

$$k_{R.T} = \Delta \mathrm{E}_{Г} / \Delta \mathrm{I}_{\mathrm{В}}, \tag{2.3}$$

Коэффициент усиления относительно одной одной из обмоток возбуждения генератора:

$$k_{R.T} = \Delta \mathrm{E}_{Г} / \Delta U_{\mathrm{В}}. \tag{2.4}$$

Динамические характеристики генератора определяются его уравнением возбуждения при следующих принятых допущениях:

- потоки рассеяния по продольной оси отсутствуют;
- напряжение генератора не зависит от ЭДС самоиндукции якорной обмотки, т.е. $\mathrm{U}_{\mathrm{г}} = e_{г} - i_{я} R_{я}$;
- трансформаторная ЭДС в коммутируемых секциях равна нулю;
- составляющая тока якоря $i_{я}$ от трансформаторной ЭДС в последовательной обмотке влияет только на темп изменения потока по продольной оси и не изменят ток нагрузки.

С учетом принятых допущений для линеаризованного участка характеристики управления, где $e_{Г} = \mathrm{k}_{\mathrm{rd}} F_{d}$, уравнение возбуждения генератора становится линейным:

$$T_{Г} \frac{\mathrm{de}_{\Г}}{\mathrm{dt}} + \mathrm{e}_{\Г} = k_{Г} (\mathrm{U}_{\mathrm{В1}} + k_{oe} \mathrm{e}_{\Г} + k_{oi} i_{Я}), \tag{2.5}$$

где $T_{Г}$ - электромагнитная постоянная времени генератора, с.

Уравнению (2.5) соответствует структурная схема генератора, приведенная на рисунке 2.2. Как видно из рисунка 2.1, в динамических режимах генератор представляет собой инерционное звено в общем случае с обратными связями по ЭДС и по току якоря. Большое применение в электроприводе находят генераторы значительной мощности, имеющие компенсационную обмотку и обладающие достаточно высокими значениями КПД и коэффициента мощности. Передаточная функция генератора имеет вид:

$$W_{Г}(\mathrm{p}) = \frac{\mathrm{E}_{Г}(p)}{U_{В1}(p)} = \frac{k_{Г}}{T_{Г} p + 1}. \tag{2.6}$$

Для генераторов значительной мощности (выше 100 кВт) постоянная времени $T_{Г}$ составляет около 1 с и более. Такая инерционность затягивает переходные процессы генератора и заметно ограничивает его полосу пропускания, что может быть нежелательным фактом.

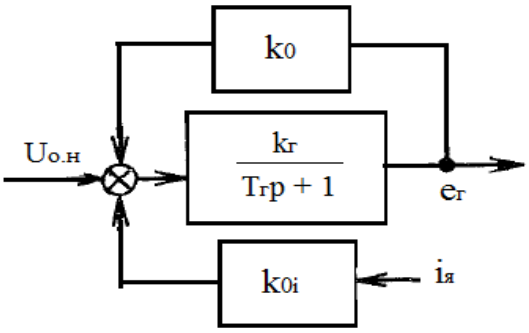


Рисунок 2.2 - Структурная схема генератора

Для форсирования (убыстрения) переходных процессов генератора применяют способы, уменьшающие эквивалентное значение $T_Г$, или повышающие темп изменения ЭДС генератора за счет управления напряжением возбуждения. Уменьшение $T_Г$ возможно за счет введения дополнительного резистора $R_Д$ в цепи обмотки возбуждения. Для сохранения номинального значения ЭДС генератора напряжение возбуждения должно быть повышено на величину падения напряжения на данном резисторе.

Степень форсировки переходных процессов характеризуется коэффициентом форсировки:

$$k_ф = \mathrm{U_{B0}} / U_{B.УСТ}, \qquad (2.7)$$

где $\mathrm{U_{B0}}$ - начальное значение напряжения на обмотке возбуждения при токе возбуждения, равным нулю, В;

$U_{B.УСТ}$ - установившееся значение напряжения возбуждения, В.

3 Лекция №3. Вентильные преобразователи напряжения постоянного тока

Содержание лекции:

- достоинства и недостатки вентильных преобразователей;
- структурная схема вентильного преобразователя;
- типы вентильных преобразователей.

Цель лекции:

- изучить структурные изображения вентильных преобразователей;
- изучить мостовую схему тиристорного преобразователя.

3.1 Вентильные преобразователи напряжения постоянного тока

В системах автоматизированных электроприводов вентильные преобразователи постоянного тока получили весьма широкое распространение с развитием полупроводниковой техники и освоением

промышленностью надежных, малогабаритных управляемых силовых вентилей – тиристоров и транзисторов. В большинстве современных преобразователей для привода в качестве силовых вентилей используются тиристоры. На их основе для электропривода постоянного тока построены два типа преобразователей: тиристорные преобразователи (ТП) напряжения переменного тока в постоянный (управляемые выпрямители) и широтно – импульсные преобразователи (ШИП) неизменного напряжения постоянного тока в регулируемое напряжение постоянного тока. Тиристорные преобразователи обладают рядом достоинств:

1) Высокий КПД, обусловленный незначительным падением напряжения на тиристоре (менее 1 в).

2) Незначительная инерционность, обусловленная фильтрами в цепях управления и неуправляемостью тиристоров в течение интервала проводимости (10 – 20 мс).

3) Высокая надежность при использовании быстродействующей защиты и модульно – блочном исполнении ТП.

К недостаткам ТП следует отнести:

1) Низкий коэффициент мощности при глубоком регулировании напряжения.

2) Искажения питающего напряжения, вносимые работой ТП.

3) Повышенный уровень излучаемых радиопомех.

Функциональная схема ТП представлена на рисунке 3.1. Входной координатой ТП является напряжение управления U_Y, выходной координатой – выпрямленная ЭДС, определяемая как средняя на интервале проводимости величина в установившемся режиме E_d и в переходных процессах e_d. Входной блок Б1 преобразует величину U_Y в угол открывания тиристоров α, а выходной блок Б2 преобразует величину α в ЭДС ТП. Технический блок Б1 представляет собой систему импульсно - фазового управления (СИФУ), а блок Б2 – вентильную группу ВГ. Конструктивно вентильная группа представляет собой комплект тиристоров, предназначенных для определенного направления тока нагрузки, например, комплекты «Вперед» и «Назад» в реверсивных ТП.

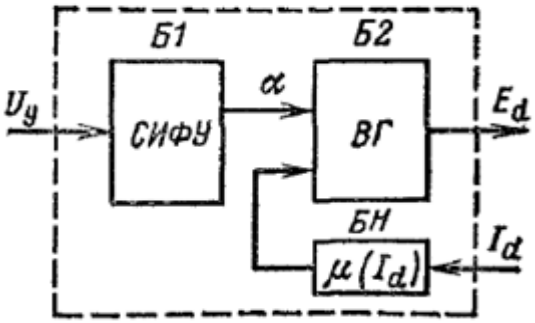


Рисунок 3.1 - Блочная структурная схема ТП

На выходную координату ТП оказывает влияние возмущающее воздействие ток нагрузки I_d, который через функциональный блок нагрузки БН поступает на вход Б2. Влияние I_d на E_d проявляется только в режиме прерывистых токов. В режиме непрерывных токов ЭДС ТП является функцией только угла открытия и определяется выражением:

$$E_d = E_{do}\cos\alpha. \qquad (3.1)$$

Действующее значение фазного тока вторичной обмотки трансформатора определяется через выпрямленный ток в предположении, что он имеет прямоугольную форму:

$$I_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi}(i_d^2\frac{2\pi}{m})} - \frac{I_d}{\sqrt{m}}. \qquad (3.2)$$

Внутреннее сопротивление ТП, приведенное к цепи нагрузки, определяется как сумма:

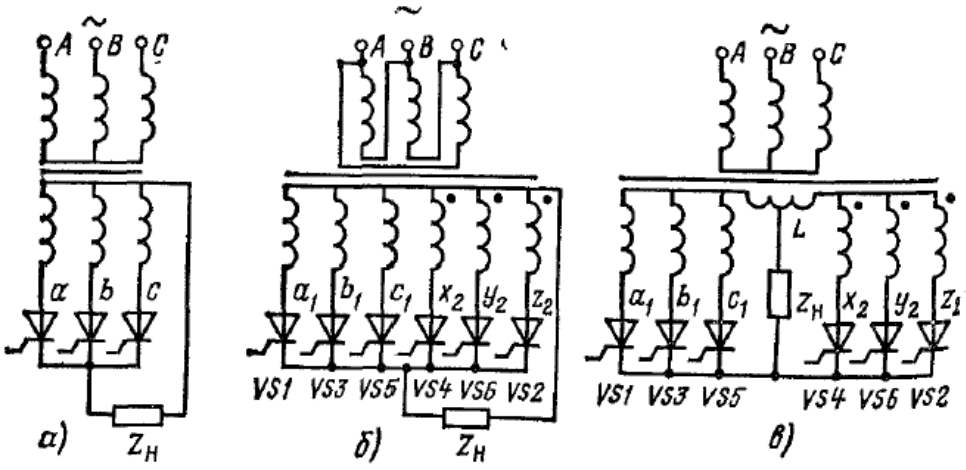
$$R_{dП} = R_П + R_{И,П} + R_B, \qquad (3.3)$$

где $R_П$ - эквивалентное сопротивление ТП, называемое перекрытием вентилей;

$R_{И,П}$ - результирующее активное сопротивление источника питания (трансформатора);

R_B - расчетное сопротивление вентилей.

Широкое применение в электроприводе находят трехфазные нулевые и мостовые схемы включения вентильных групп. На рисунке 3.2 приведены типовые нереверсивные нулевые схемы.



а) Трехфазная; б) шестифазная; в) трехфазная с уравнительным реактором.

Рисунок 3.2 - Нулевые схемы управляемых выпрямителей

Из приведенных на рисунке 3.2 схем наиболее является трехфазная нулевая схема, имеющая меньшее число вентилей и обычный двух обмоточный трансформатор. Однако эта схема имеет наибольший уровень

пульсации в выпрямленной ЭДС (частота пульсации составляет $3f_c = 150$Гц). В этой схеме выпрямленный ток нагрузки, протекая через трансформатор, вызывает его дополнительное подмагничивание. В связи с этим трансформатор должен выбираться с некоторым запасом по сечению магнитопровода. Завышенные габариты трансформатора относительно полезной нагрузки обуславливают целесообразность применения этой схемы для электропривода относительно небольшой мощности (1 – 10 кВт). В схеме (рисунок 3.2 б) вентильные группы работают параллельно, где уравнительный реактор исключает коммутацию вентилей с одной группы на вентили другой группы, тем самым делает работу группы независимой. Схема исключает подмагничивание трансформатора током нагрузки, так как направления МДС двух обмоток на одном стержне трансформатора противоположны. По пульсациям в выпрямленной ЭДС данную схему можно рассматривать как условно – шестифазную (частота пульсации составляет $6f_c = 300$Гц). Наименьшая типовая мощность трансформатора и наибольший ток нагрузки относительно токов вентиля и трансформатора делают эту схему целесообразной для ТП большой мощности с большими токами нагрузки.

3.2 Трехфазная мостовая схема тиристорного преобразователя

В настоящее время трехфазная мостовая схема ТП (рисунок 3.3) находит широкое применение в электроприводе, как наиболее простая и надежная система питания двигателей различной мощности.

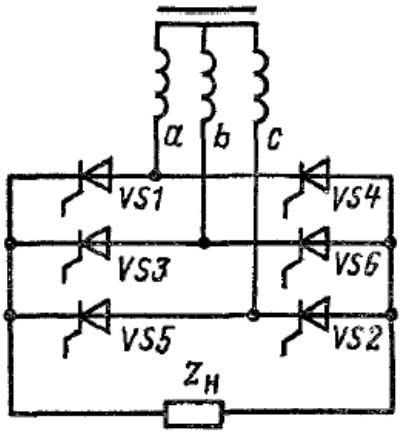


Рисунок 3.3 - Трехфазная мостовая схема тиристорного преобразователя

Эта схема представляет собой сдвоенную нулевую схему, работающую последовательно в оба полупериода переменного тока. По сравнению с трехфазной нулевой схемой мостовая схема имеет преимущества:

1) Выпрямленная ЭДС при одном и том же вторичном напряжении трансформатора в два раза больше.

2) Пульсации выпрямленной ЭДС (частота пульсации равна $6f_c = 300$ Гц) в 2 раза больше по частоте и меньше по амплитуде.

3) Вентильные группы могут подключаться к сети без трансформатора;

4) Типовая мощность трансформатора меньше:

$$P_T = 1{,}05\mathrm{E}_{\mathrm{do}} I_d. \qquad (3.4)$$

Перечисленные достоинства обусловливают преимущественное применение трехфазной мостовой схемы в системах электропривода мощностью в десятки – сотни килловат. Эта схема, выполненная в виде единичного блока – модуля, позволяет унифицировать ТП. Для нагрузок с большим током ТП комплектуются из нескольких мостов, соединенных параллельно по целям переменного и постоянного тока. Представленные на рисунках 3.2 и 3.3 схемы относятся к нереверсивным ТП. Реверсивные ТП комплектуются их двух нереверсивных вентильных комплектов, объединенных электрически по цепи нагрузки и по цепям СИФУ. Основу СИФУ (рисунок 3.4) составляет блок управления, предназначенный обычно для управления одним тиристором.

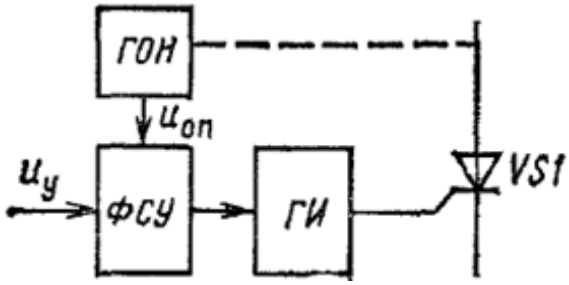


Рисунок 3.4 - Функциональная схема блока управления СИФУ

В состав блок управления входят генератор опорных напряжений ГОН, синхронизированных с напряжением питания тиристоров, фазосмещающее устройство ФСУ, регулирующее фазу открывающего импульса и генератора импульсов ГИ, вырабатывающий необходимый для открывания тиристоров импульс. Как было отмечено выше, блок управления СИФУ также входит в состав реверсивных ТП. На рисунке 3.5 приведена трехфазная мостовая схема реверсивного ТП с разделенным управлением. Две вентильные группы ВГ1 и ВГ2 представляют собой два трехфазных моста, включенных встречно – параллельно. При раздельном управлении открывающие импульсы подаются только на одну группу, находящуюся в работе, другая группа при этом закрыта. В связи с этим отсутствует необходимость в уравнительных реакторах. Это снижает массогабаритные показатели ТП, что является достоинством ТП с раздельным управлением. Отсутствие уравнительного тока ухудшает характеристики ТП в зоне малых нагрузок. Однако современные средства управления позволяют корректировать и улучшать работу ТП в зоне прерывистых токов. Поэтому раздельное управление

находит все более широкое применение в системах электропривода не только большой, но и малой мощности. Система управления ТП содержит, кроме СИФУ1 и СИФУ2, вырабатывающих управляющие импульсы для вентильных групп ВГ1 и ВГ2, логическое переключающее устройство (ЛПУ), позволяющее переключение ВГ1 и ВГ2. На ЛПУ возлагаются следующие функции:

1) Выбор группы для работы в зависимости от знака управляющего напряжения U_Y – разности задающего напряжения и напряжения обратной связи.

2) Запрещение открывания неработающей группы при наличии тока в работающей группе.

3) Запрещение снятия открывающих импульсов с работающей группы при протекании в ней тока.

4) Обеспечение временной паузы перед включением вступающей в работу группы.

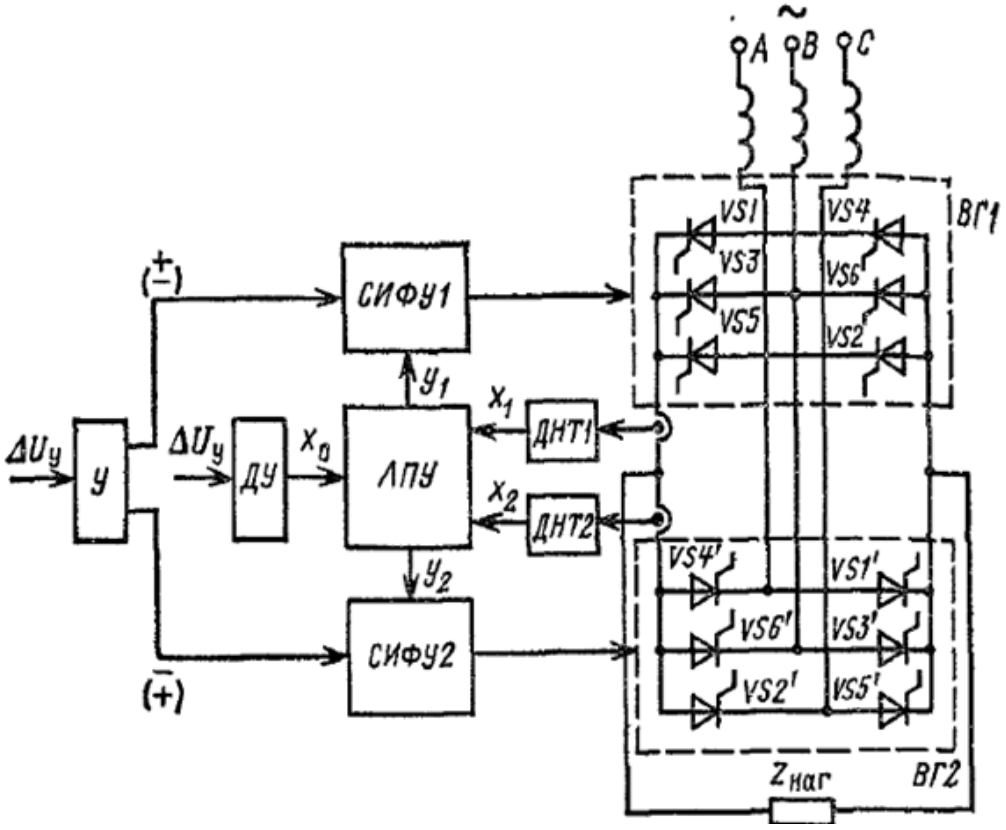


Рисунок 3.5 - Трехфазная мостовая схема реверсивного ТП с раздельным управлением вентильными группами

Для реализации перечисленных функций требуется информация о наличии тока в вентильных группах и знаке управляющего сигнала. Эта информация поступает в ЛПУ с датчиков нулевого тока ДНТ1 и ДНТ2, а

также с датчика управления ДУ. ЛПУ – устройство релейного действия. Его входные x_o, x_1, x_2 и выходные y_1, y_2, величины являются дискретными и характеризуются двумя уровнями – низким (условно 0) и высоким (условно 1).

3.3 Индуктивно – емкостные преобразователи тока

Тиристорные преобразователи при определенной схеме включения, например, с критической положительной обратной связью, могут работать и в режимах источника тока. Источник тока применяется для таких потребителей энергии, для которых по условиям их технологического режима требуется постоянство тока, например, для двигателей перематывающих устройств с постоянным напряжением. Простой и надежный источник тока (ИТ) может быть выполнен на основе индуктивно – емкостной цепи, настроенной на резонанс напряжений (рисунок 3.6).

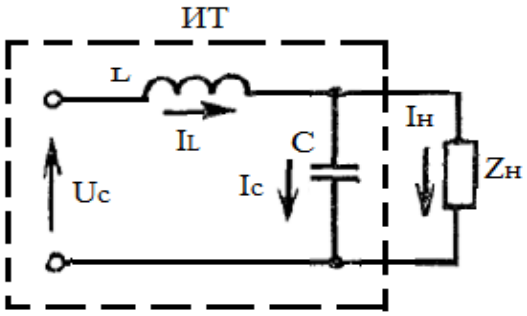


Рисунок 3.6 - Схема цепи источника тока

Достоинство данной схемы – простота. Недостаток – нарушение постоянства тока для нагрузки постоянного тока, включенной через выпрямительный мост и имеющей ЭДС (двигатель постоянного тока). При такой нагрузки нарушается синусоидальность токов, а следовательно, условие резонанса и постоянства тока. Наиболее неблагоприятно на свойство источника тока влияет режим прерывистых токов, возникающий в однофазной схеме ИТ при ЭДС нагрузки, большей нуля. Для устранения отмеченного недостатка переходят к многофазным схемам источника тока. На рисунке 3.7 приведена схеме трехфазного источника тока. Схема симметрична, имеет равные значения параметров одноименных элементов и равные токи в этих элементах.

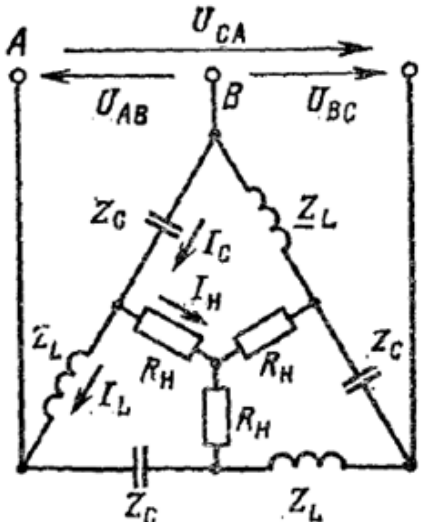


Рисунок 3.7 - Схема трехфазного индуктивно- емкостного источника тока

Явление резонанса напряжений, используемое в ИТ, сопровождается возрастанием напряжений на реакторе и конденсаторе при увеличении сопротивления нагрузки. Применительно к электроприводу типовой нагрузкой для ИТ является двигатель постоянного тока с независимым возбуждением, якорь которого подключен к ИТ через выпрямительный мост (рисунок 3.8).

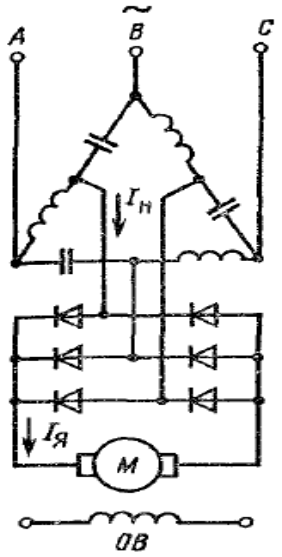


Рисунок 3.8 Схема ИТ – ДВП НВ

Пренебрегая величиной R_L, а также влиянием нелинейного выпрямительного моста на работу ИТ, будем иметь $I_{я} = 1.23\mathrm{I}_{\mathrm{н}} \approx const$ независимо от напряжения и, следовательно, от скорости ω двигателя. При этом скоростная характеристика двигателя представляет собой вертикальную

прямую. Так как момент двигателя определяется произведением $M = k\Phi I_{я}$, то при $I_{я} = const$ момент пропорционален магнитному потоку Ф двигателя. Механические характеристики двигателя приобретают вид семейства вертикальных прямых с параметром Ф. Таким образом, система ИТ – ДПТ НВ получает свойство регулируемого с помощью тока возбуждения источника постоянного тока.

4 Лекция №4. Понятия о преобразователях частоты. Трехфазные преобразователи частоты с автономными инверторами

Содержание лекции:
- классификация преобразователей частоты;
- преобразователей частоты с непосредственной связью;
- трехфазные преобразователи частоты с автономными инверторами.

Цель лекции:
- изучить преобразователя частоты;
- изучить преобразователь частоты с непосредственной связью;
- изучить преобразователи частоты с автономными инвертором.

4.1 Классификация преобразователей

Преобразователь частоты – преобразователь, предназначенный для преобразования тока одной частоты в ток другой частоты с возможным изменением значения напряжения и числа фаз. Преобразователи частоты классифицируются по мощности, напряжению, числу фаз входного и выходного напряжений, схеме преобразований и так далее. Работа преобразователя и его характеристики определяются в основном схемой преобразования. От схемы преобразования непосредственно зависят: параметры выходного напряжения; коэффициент мощности преобразователя по входу и выходу; форма кривой переменного тока, потребляемого из питающей сети; внешняя (нагрузочная) характеристика преобразователя; КПД. Преобразователи частоты выполняются с фиксированным соотношением частот и выходного напряжения и с переменным их соотношением или с регулируемой частотой. Преобразователи с регулируемой частотой нашли широкое применение в области электропривода для регулирования частоты вращения асинхронных двигателей. При квалификации преобразователей частоты выделяют два основных типа:

1) Преобразователи с промежуточным звеном постоянного тока (непрямой преобразователь).

2) Преобразователи с непосредственной связью питающей сети и цепей нагрузки, которые иногда называют преобразователями с неявно выраженным звеном постоянного тока.

Преобразователи на тиристорах с непосредственной связью подразделяются на преобразователи с естественной коммутацией тиристоров (под воздействием напряжения питающей сети), называемые также циклоконверторами, и преобразователи с искусственной (принудительной) коммутацией тиристоров.

4.2 Преобразователи частоты с непосредственной связью

Преобразователи частоты с непосредственной связью называется прямой преобразователь, т. е. преобразователь, в котором энергия источника переменного тока передается в нагрузку непосредственно на проводящих интервалах силовых ключей схемы преобразователя. Наиболее широкое практическое применение преобразователи частоты, выполненные на тиристорах, находям в электроприводе для управления низкоскоростными двигателями очень большой мощности. Основой силовой части таких преобразователей являются встречно – параллельно включенные группы тиристоров, каждая из которых может работать в выпрямительном или инверторном режиме. Чаще всего такие преобразователи выполняются с естественной коммутацией тиристоров и поэтому имеют частоту выходного напряжения меньшую, чем частота питающей сети. Это обстоятельство обусловило их широкое применение в электроприводе для частотного регулирования скорости двигателей путем изменения частоты выходного напряжения в диапазоне низких частот (ниже частоты промышленной сети). Число фаз входного и выходного напряжений в преобразователях с непосредственной связью являются весьма существенным признаком их квалификации, так как оно в значительной мере определяет структуру построения схемы преобразователя.

Схема преобразователя частоты с непосредственной связью и естественной коммутацией представлена на рисунке 4.1. В схеме преобразователя частоты с непосредственной связью можно выделить две группы тиристоров: I – катодную (VS1, VS2, VS3) и II2 – анодную (VS4, VS5, VS6). Допустим, что нагрузка Z_H – активная. Управляющие импульсы в процессе работы поступают на тиристоры анодной и катодной групп поочередно.

Когда управляющие импульсы, синхронизированные по частоте с напряжением питающей сети, подаются последовательно на тиристоры VS1, VS2, VS3 катодной группы, она работает в режиме выпрямления (по трехфазной схеме выпрямления со средней точкой), формируя на нагрузке положительную полуволну напряжения относительно нулевого вывода

трансформатора. Управляющие импульсы поступают на тиристоры со сдвигом относительно линейных напряжений питающей сети на угол α.

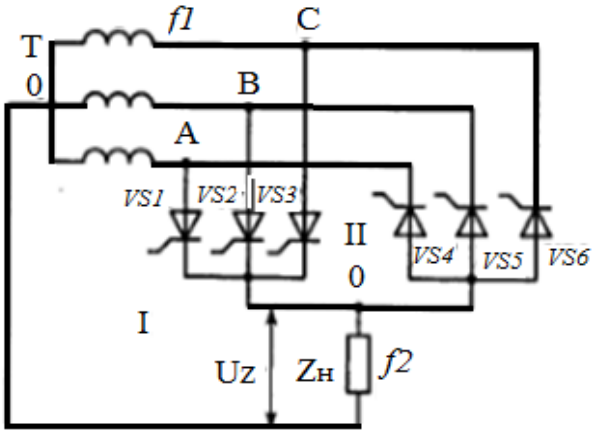


Рисунок 4.1 - Преобразователь частоты с непосредственной связью

При работе тиристоров VS4, VS5, VS6 анодной группы на нагрузке относительно нулевого вывода трансформатора формируется отрицательная полуволна напряжения.

В результате цикличной работы групп I и II на нагрузке создается переменное напряжение с частотой основной гармоники f_2 более низкой, чем частота питающей сети f_1.

4.3 Трехфазные преобразователи частоты с автономными инверторами

Современные преобразователи частоты с управляемыми вентилями можно разделить на преобразователи частоты с автономными инверторами – преобразователи частоты с промежуточной цепью постоянного тока и преобразователи частоты с непосредственной связью с сетью. Структурная схема преобразователи частоты с промежуточным звеном (преобразователь частоты с автономным инвертором) приведена на рисунке 3.2.

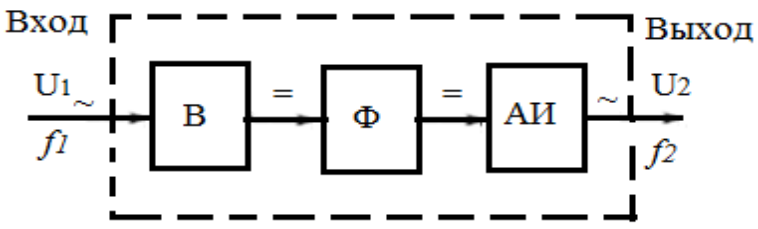


Рисунок 4.2 - Структурная схема ПЧ с промежуточным звеном постоянного тока

Переменное напряжение U_1 с частотой f_1 поступает на вход выпрямителя B. Выпрямленное напряжение сглаживается фильтром Ф и поступает на вход автономного инвертора АИ, имеющего выходное напряжение U_2 с частотой f_2.

В преобразователях данного типа частота выходного напряжения не зависит от частоты питающего напряжения сети и может быть как больше, так и меньше этой частоты. Схема выпрямителя В обычно выбирается их условия обеспечения требований по регулированию его выходного напряжения, влиянию на источник переменного напряжения, питающий преобразователь и др. Требование к снижению уровня пульсаций выпрямленного напряжения связаны с влиянием их на качество выходного напряжения инвертора, которое проявляется обычно в виде модуляции (периодического изменения амплитуды) выходного напряжения инвертора. При питании преобразователя от промышленной сети выпрямитель В чаще всего выполняется по трехфазной схеме. Для уменьшения пульсаций на выходе выпрямителя обычно устанавливают фильтр Ф. Если звено автономного инвертора выполнено по схеме инвертора напряжения, то необходимость в фильтре обусловлена также особенностью работы инвертора напряжения на активно – индуктивную нагрузку. При такой нагрузке должен происходить возврат энергии накопленный в индуктивностях нагрузки, в источник постоянного тока через обратные диоды. Поскольку в рассматриваемом преобразователе источником постоянного тока является выпрямитель, обладающий односторонней проводимостью, то функции приемника возвращаемой энергии, выполняет обычно фильтр, имеющий в таком случае емкостной выход. Емкость конденсатора, включенного на выходе фильтра, в этом случае должна рассчитываться не только из условия обеспечения требуемого коэффициента сглаживания пульсаций выпрямителя, но и их условия обеспечения требуемого уровня пульсаций, вызванных периодическим возвратом энергии из индивидуальных элементов нагрузки через обратные диоды инвертора.

Если звено АИ выполнено по схеме инвертора тока, то фильтр Ф должен иметь индивидуальный выход для обеспечения непрерывности инвертируемого тока (или образования колебательного процесса изменения этого тока в резонансных инверторах). В этом случае выходная индуктивность фильтра, как правило, относится непосредственно к инверторному звену и учитывается при его проектировании в виде индуктивности сглаживающего реактора L_d. В большинстве случаев в подобного типа преобразователях фильтр имеет Т – образную структуру, состоящую из Г – образного LC – фильтра на выходе выпрямителя и индуктивности сглаживающего реактора L_d на выходе инвертора. Следует отметить, что преобразователи частоты с инвертором тока в настоящее время в основном применяются для управления синхронными двигателями очень большой мощности. При этом инвертор

выполняется на тиристорах, коммутация которых происходит под воздействием нагрузки, т.е. синхронного двигателя, обмотки которого непосредственно подключаются к тиристорному мосту инвертора тока. Напряжение этих обмоток позволяет обеспечить естественную коммутацию тиристоров.

5 Лекция №5. Логические и вычислительные элементы управления дискретного действия. Типовые цифровые узлы

Содержание лекции:

- логические элементы систем управления электроприводов;
- типовые цифровые узлы систем управления.

Цель лекции:

- изучить логические элементы систем управления электроприводов;
- изучить типовые цифровые узлы систем управления.

5.1 Логические и вычислительные элементы управления дискретного действия

В современных системах автоматического управления (САУ) широкое применение находят элементы управления дискретного действия. – цифровые элементы. Применительно к автоматизированному электроприводу (АЭП), на основе цифровых элементов выполняются, в первую очередь, входные и задающие устройства, формирующие программу работы электропривода. Цифровые элементы могут использоваться в регуляторах, а также могут входить в состав датчиков. По степени сложности выполняемых операций цифровые элементы могут быть классифицированы следующим образом;

1) Логический элемент, реализующий простейшие логические операции и относящийся к низкому уровню функциональной интеграции.

2) Цифровой узел (совокупность логических элементов), имеющий функциональную завершенность и определяющий средний уровень функциональной интеграции.

3) Цифровая вычислительная машина (комплекс цифровых устройств), относящиеся к высшему уровню функциональной интеграции.

Данная классификация не является строгой. Следует отметить, что логический элемент – это элемент дискретного действия, выполняющий преобразование управляющего сигнала в соответствии с законами алгебры логики. В конструктивном отношении различают два типа логических элементов: контактные реле и бесконтактные элементы. Достоинства контактных реле – отсутствие гальванической связи между входом и выходом и возможность одновременно коммутировать несколько цепей с относительно большими токами. Недостатки реле – пониженная надежность контактных

соединений и малое быстродействие из за электромагнитной и механической инерционностей. Поэтому контактные реле применяются в основном как входные и выходные разделительные и коммутирующие устройства, а также в схемах автоматикис небольшим объемом переключений в единицу времени. Бесконтактные логические элементы обладают высокими надежностью и быстродействием (время переключения – менее 1 мкс). широко применяются в современных системах автоматики с большим объемом логических операций на коротком интервале времени. Основное исполнение бесконтактных логических элементов – интегральное или микромодульное. Входная и выходная переменные логического элемента могут принимать только одно из двух значений: логический ноль (низкий уровень сигнала) или логическую единицу (высокий уровень сигнала). Взаимосвязь логических переменных образуют логическую функцию $y = f(x)$. Так как аргумент и функция принимают конечное число значений, а именно: только два значения (1 и 0), то число возможных логических функций всегда конечно и равно:

$$N = 2^m = 2^{2n}, \tag{5.1}$$

где n - число независимых переменных;

$m = 2^n$ – число наборов независимых переменных.

Так, для функции одной переменной $n = 1$, $m = 2$ и $N = 4$, т.е. существуют всего четыре варианта функций :

x	y_I	y_{II}	y_{III}	y_{IV}
0	0	0	1	1
1	0	1	0	1

где $y_I = 0$ – нулевая функция;

$y_{II} = x$ – функция повторения;

$y_{III} = x$ – инверсия, функция НЕ;

$y_{IV} = 1$ – единчная функция.

Для функций двух переменных $y = f(x_1, x_2)$ $n = 2$ (количество переменных), $m = 4$ (число наборов независимых переменных), $N = 16$ (количество вариантов функций), существует всего 16 вариантов логических функций, среди которых можно выделить 6 типовых функций:

$$y_I = x_1 + x_2 = x_1 \vee x_2 \tag{5.2}$$

- дизъюнкция, логическое сложение, функция ИЛИ;

$$y_{II} = x_1 x_2 = x_1 \wedge x_2 \tag{5.3}$$

-конъюнкция, логическое умножение, функция И;

$$y_m = x_1 + x_2 \tag{5.4}$$

-функция ИЛИ – НЕ, операция Пирса;

$$y_{IV} = x_1 x_2; \tag{5.5}$$

-функция И – НЕ, операция Шеффера;

$$y_V = x_1 \sim x_2 \tag{5.6}$$

- равнозначность;

$$Y_{VI} = x_1 + x_2 \qquad (5.7)$$

- неравнозначность, включающее ИЛИ.

Основными операциями с логическими переменными являются дизъюнкция, конъюнкция и инверсия. На основе этих трех операций может быть построена любая логическая функция. Логические функции реализуются с помощью соответствующих логических элементов. Условное изображение типовых логических элементов приведено на рисунке 5.1.

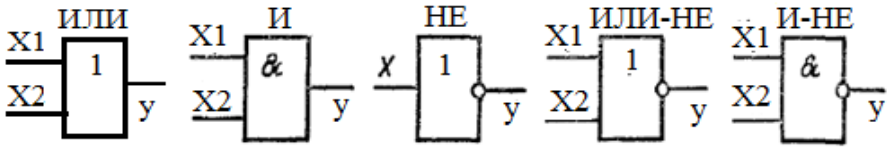


Рисунок 5.1 - Условное обозначения типовых логических элементов

Схемы и условное обозначения логических элементов «Равнозначность» и «Неравнозначность», как составные элементы, полученные соответствующими схемами включения элементов И, ИЛИ, И – НЕ, ИЛИ – НЕ, приведены на рисунке 5.2.

Равнозначность Неравнозначность

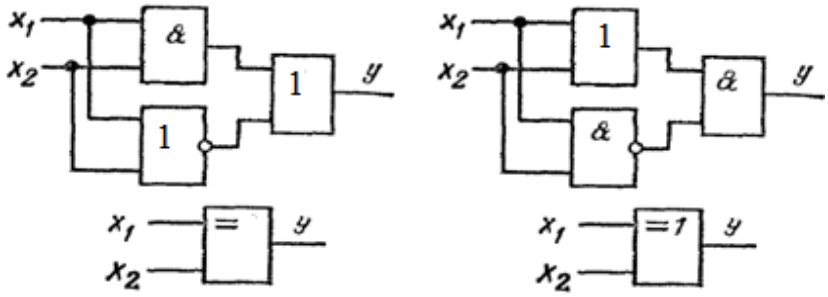


Рисунок 5.2 - Логические элементы «Равнозначность» и «Неравнозначность»

5.2 Законы алгебры логики логических элементов

Преобразования логических функций подчиняются определенным правилам законам алгебры логики:

1) Закон действия с единицей:

$$1 + x = 1;\ \ 1x = x;\ \ 1 + x_1 + x_2 + x_3 + \ldots + x_n = 1;$$

$$x + x = 1.$$

2) Закон действия с нулем:

$$0 + x = x;\quad 0x = 0;\quad xx = 0.$$

3) Закон повторения:

$$x + x + \ldots + x = nx = x;\ \ xx\ldots x = x^n = x.$$

4) Закон отрицания, отрицания – двойное отрицание есть утверждение:

$$(\bar{x}) = x.$$

5) Переместительный закон:

$$x_1 + x_2 = x_2 + x_1; \quad x_1 x_2 = x_2 x_1 .$$

6) Сочетательный закон:

$$(x_1 + x_2) + x_3 = x_1 + (x_2 + x_3); \quad (x_1 x_2) x_3 = x_1 (x_2 x_3).$$

7) Распределительный закон:

$$x_1 (x_2 + x_3) = x_1 x_2 + x_1 x_3; \quad x_1 + x_2 x_3 = (x_1 + x_2)(x_1 + x_3).$$

8) Закон поглощения:

$$x_1 (x_1 + x_2) = x_1; \quad x_1 (x_1 + x_2)(x_1 + x_2)...(x_1 + x_n) = x_1;$$

$$x_1 (\bar{x}_1 + x_2) = x_1 x_2; \quad x_1 + x_1 x_2 = x_1 + x_2.$$

9) Закон склеивания:

$$(x_1 + x_2)(x_1 + \bar{x}_2) = x_1; \quad x_1 x_2 + x_1 x_2 = x_1.$$

10) Закон де Моргана – инверсия конъюнкции есть дизъюнкция инверсии или инверсия дизъюнкции есть конъюнкция инверсии:

$$x_1 x_2 = x_1 + x_2; \quad x_1 + x_2 = x_1 x_2.$$

Логические функции могут быть заданы не только в виде таблиц истинности, но и в аналитической форме с помощью так называемых структурных формул. Эта форма представления функции получается на основе теоремы разложения, согласно которой любую функцию многих переменных можно представить в виде следующей суммы:

$$y = f(x_1, x_2, ..., x_n) = x_1 f(1, x_2, ..., x_n + x_1 f(0, x_2 .... x_n). \qquad (5.8)$$

Логический элемент, объединяющий в себе логические операции ИЛИ – НЕ или И – НЕ, называются базовым элементом. Этот логический элемент выполняет функцию как бы простейшего кирпичика при построении сложного логического здания, т.е. на основе базового элемента может быть составлена схема, реализующая любую логическую функцию. Промышленные серии логических элементов интегрального исполнения имеют базовым элементом в основном элементы типа И – НЕ, а в некоторых сериях используются логические элементы типа ИЛИ – НЕ. Кроме этого, следует отметить, что важным логическим элементом реализующим функцию «Память» является триггер. Триггер относится к последовательному типу элементов, когда выходная координата определяется не только комбинацией входных переменных, но и предшествующим состоянием элемента. Для того чтобы запомнить кратковременный единичный входной сигнал, можно использовать обратную связь, т.е. подать выходную величину на вход, тогда структурная формула триггера получит вид:

$$y = (x_1 + y)x_2 = (\bar{x}_1 + \bar{y}) + x_2 = (\bar{x}_1 \bar{y})x_2. \qquad (5.9)$$

Полученная функция (5.9) может быть реализована на базе логических элементах ИЛИ – НЕ или И – НЕ. Данный триггер называется статическим RS – триггером.

6 Лекция №6. Типовые цифровые узлы. Микропроцессор – комплексный цифровой элемент автоматизированного электропривода

Содержание лекции:
- типовые цифровые узлы;
- микропроцессоры.

Цель лекции:
- изучение типовых цифровых узлов;
-изучение микропроцессора.

6.1 Типовые цифровые узлы

Цифровые узлы являются комплексными логическими элементами. Они относятся к среднему уровню функциональной интеграции. По функциональному назначению цифровые узлы можно подразделить на три основные группы: логические узлы, реализующие различные логические функции, соответствующие алгебре логики; вычислительные узлы, выполняющие соответствующие правилам обычной алгебры вычислительные функции – сложение, умножение, сравнивание чисел и так далее, узлы памяти, выполняющие функцию запоминания поступающих сигналов. Вычислительные операции выполняются в цифровых узлах на основе двоичной системы счисления. Поэтому вычислительные цифровые узлы, так же, как и логические узлы, строятся на логических элементах, т.е. различные функции вычисления реализуются через простые логические операции. Это обстоятельство позволяет рассматривать некоторые логические цифровые узлы как вычислительные и наоборот. Конструктивно цифровые узлы могу выполняться в виде схемы, объединяющей отдельные логические элементы и смонтированной на плате (многокорпусное исполнение) или в виде единичного комплексного логического элемента (однокорпусного исполнения).

Характеристика управления цифрового узла, связывающая функционально его входные и выходные координаты, задается как алгоритм работы узла в форме таблицы истинности, диаграммы работы (циклограммы), структурной формулы, словесного описания. На основе заданного в той или иной форме алгоритма работы цифрового узла составляется его схема с использованием логических элементов. Для многих цифровых узлов схемы и изготовляются серийно в многокорпусном или однокорпусном исполнениях. Это так называемые «типовые» цифровые узлы, т.е. те узлы которые находят широкое применение как составные части в различных цифровых системах управления.

К группе логических цифровых узлов можно отнести распределитель импульсов, который находит применение, например, в системах управления автономными инверторами ПЧ. Поступающие на вход распределителя

импульсов тактовые импульсы с частотой f_T распределяются поочередно по n выходам распределителя, при этом единичный сигнал y_{i+1} на $(r'+1)-$м выходе появляется при исчезновении единичного сигнала y_i на $i-$м выходе, а снимается сигнал y_{i+1} тактовым импульсом x_c. Схема узла с таким алгоритмом работы, выполненная на $D-$триггерах с динамическим входом для распределителя с шестью выходами, приведена на рисунке 6.1.

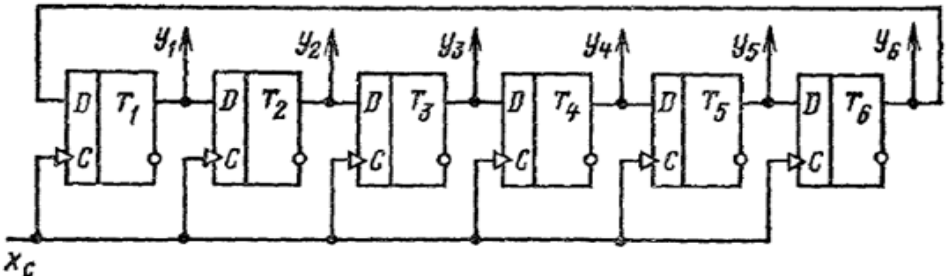


Рисунок 6.1 - Схема распредилителя импульсов

В исходном положении предварительно записанный единичный сигнал имеет место на выходе первого триггера $y_1 = 1$. При появлении первого тактового импульса единичный сигнал исчезает с выхода триггера T_1 и появляется на выходе T_2 $(y_2 = 1)$. При следующем тактовом импульсе $y_2 = 0$ и $y_3 = 1$ и т.д. Когда единичных сигнал появляется на выходе T_6, то через обратную связь он поступает на вход T_1, и цикл повторяется. Очевидно, что частота цикла:

$$f = f_T / n, \tag{6.1}$$

где $n-$ число триггеров распределителя импульсов.

Важным логическим цифровым узлом является дешифратор (декодер), который преобразует сигнал на $n-$входах, представляющий собой число в двоичном коде, в единичный сигнал на одном из его выходов. Алгоритм работы трехразрядного числа с пятью выходами отражен в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Таблица истинности дешифратора

Номер	a_2	a_1	a_0	y_4	y_3	y_2	y_1	y_0
0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	0	1	0
2	0	1	0	0	0	1	0	0
3	0	1	1	0	1	0	0	0
4	1	0	0	1	0	0	0	0

Применяя дизъюнктивную нормальную форму представления логической функции, заданной таблицы 6.1 получим:

$$y_0 = a_0 a_1 a_2; \quad y_1 = a_0 a_1 a_2; \quad y_2 = a_0 a_1 a_2;$$
$$y_3 = a_0 a_1 a_2; \quad y_4 = a_0 a_1 a_2.$$

Схема дешифратора представлена на рисунке 6.2.

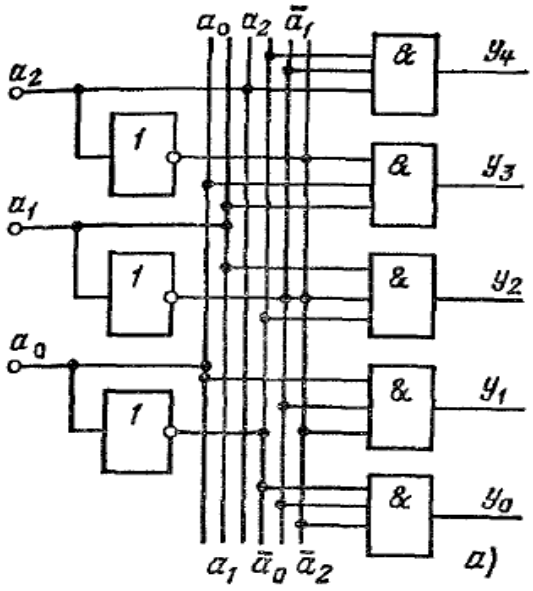


Рисунок 6.2 – Схема дешифратора

Обратную операцию выполняет шифратор (кодер), который преобразует единичный сигнал на одном из m входов в параллельный двоичный код на n выходах. Таблицы истинности у шифратора и у дешифратора одинаковы, но в них меняются местами функция и аргумент. Тогда согласно таблице 6.1 для шифратора справедливы формулы:

$$a_0 = y_1 + y_2; \quad a_1 = y_2 + y_3; \quad a_2 = y_4.$$

Логическую функцию управляемого двоичным кодом переключателя нескольких входов на один выход выполняет узел, называемый мультиплексом, Этот узел представляет собой дешифратор (рисунок 6.2), выходы которого объединены логическим суммированием, а к элементам И добавлено по одному входу x_0, x_1,..., x_{n-1}. Тогда для трехразрядного управляющего кода и пяти выходов структурная формула мультиплексора получит следующий вид:

$$y = y_0 + y_1 + ... + y_4 = a_0 a_1 a_2 x_0 + a_0 \bar{a}_1 \bar{a}_2 x_1 + ,,, + a_0 a_1 a_2 x_4.$$

Логическую функцию переключения вентильных групп реверсивного ТП с раздельным управлением реализует цифровой узел – логическое переключающее устройство (ЛПУ), изображенное на рисунке 6.3.

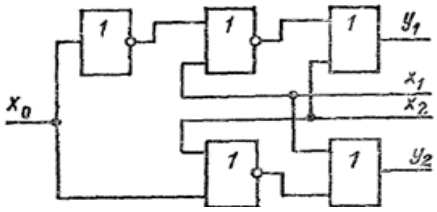


Рисунок 6.3 - Схема ЛПУ реверсивного ТП

Входные сигналы наличия тока в вентильных группах x_i и знака управляющего напряжения x_0 формируют на выходе запрещающие сигналы на открытие групп (y_1, y_2).

К группе вычислительных цифровых узлов следует отнести типовые узлы, как счетчики, сумматоры, узлы сравнения – компараторы.

Двоичный счетчик выполняет последовательный счет электрических импульсов, поступающих на его вход, с представлением результата счета в двоичном коде на выходе. Схема счетчика прямого счета, построенная на двухступенчатых Т-триггерах, приведена на рисунке 6.4.

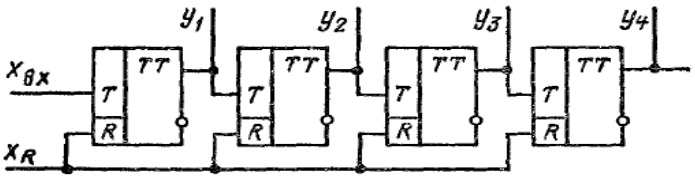


Рисунок 6.4 - Схема двоичного счетчика – делителя частоты

Поступающий на счетный вход сигнал с прямого выхода предыдущего триггера включает своим задним фронтом последующий триггер. Совокупность выходных сигналов триггеров ($y_1 - y_4$) соответствует числу импульсов в двоичном коде, поступающих на счетчик к данному моменту времени. Число триггеров n определяет число разрядов счетчика и его числовую емкость $N = 2^n - 1$. При каждом переходе от младшего разряда к старшему разряду частота выходного сигнала триггера снижается вдвое. Следует отметить, что счетчик одновременно выполняет функцию делителя частоты, в котором частота выходного сигнала старшего разряда определяется отношением:

$$f_{вых} = \mathrm{f}_{\mathrm{вх}}/2^{\mathrm{n}},$$

где $\mathrm{f}_{\mathrm{вх}}$ - частота входного сигнала $x_{вх}$, *Гц*.

Приведенный счетчик на рисунке 6.4 относится к типу асинхронных счетчиков последовательного действия, в которых переключение каждого последующего триггера осуществляется задним фронтом выходного сигнала предыдущего триггера.

Сумматор - цифровой узел выполняет операцию сложения двоичных чисел. Операция сложения двух одноразрядных чисел a и b выполняется согласно правилу:

$$a+b=\begin{array}{lll} 0+0=0, & S=0, & P=0; \\ 1+0=1, & S=1, & P=0; \\ 0+1=1, & S=1, & P=0; \\ 1+1=10, & S=0, & P=1. \end{array} \qquad (6.1)$$

При сложении двух единиц их сумма (число 2) представляется в двоичной системе двухразрядной формой. Тогда в пределах одного разряда результатом сложения будет (S=0), а единица в следующем разряде будет результатом переноса (P=1). Из записанного правила сложения (6.1) очевидно, что величина S представляет собой логическую функцию неравнозначности, а величина P – конъюнкцию. Этим двум функциям одних и тех же переменных a и b соответствует схема так называемого полусумматора (рисунок 6.5).

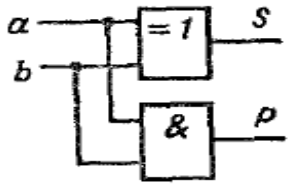


Рисунок 6.5 - Схема полусумматора

При сложении двух многоразрядных чисел полусумматор можно использовать только для одного младшего разряда. Для произвольного i-го разряда суммирование производится с учетом трех слагаемых a_i, b_i и P_i по таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Таблица истинности полусумматора

a_i	b_i	P_i	S_i	P_{i+1}
0	0	0	0	0
0	1	0	1	0
1	0	0	1	0
1	1	0	0	1
0	0	1	1	0
0	1	1	0	1
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

Компаратор – цифровой узел, выполняющий функцию сравнению двух чисел A_n и B_n. Результатом сравнения является определение одного из трёх возможных состояний : $A=B$; $A\succ B$ и $A\prec B$, каждое из которых фиксируется

единичным сигналом на соответствующем выходе. Схема компаратора представлена на рисунке 6.6.

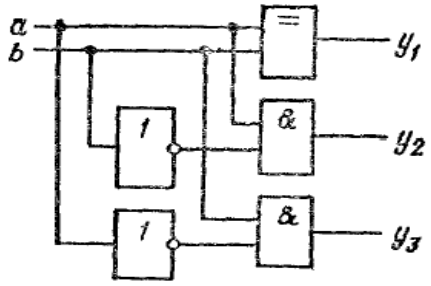


Рисунок 6.6 - Схема компаратора

6.2 Микропроцессор – комплексный цифровой элемент обработки цифровой информации

Микропроцессор представляет собой программно - управляемое устройство осуществляющее процесс обработки цифровой информации и управления им. Основными обязательными функциональными узлами микропроцессора является арифметически – логическое устройство (АЛУ) и устройство управления (УУ). Однако для взаимодействия микропроцессора с другими внешними устройствами необходимы запоминающие устройства для хранения программ и результатов промежуточных вычислений, устройства ввода –вывода (УВВ) информации и др. Совокупность перечисленных устройств называется микропроцессорным устройством (МПУ). Упрощенная структурная схема микропроцессора приведена на рисунке 6.7.

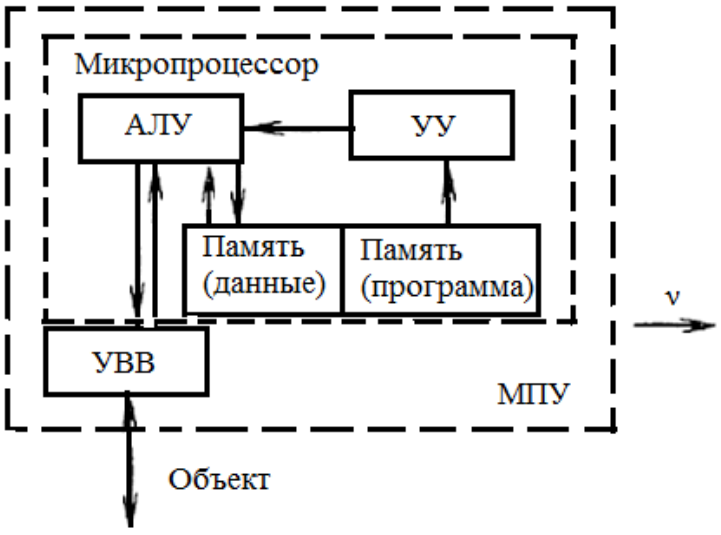


Рисунок 6.7 - Упрощенная структурная схема микропроцессра

Устройство ввода – вывода обычно разделяют на две части: интерфейс (англ. interface – устройство отображения) и внешнее или переферийное устрйство. Интерфейс преобразует сигналы от микропроцессора в сигналы, воспринимаемые внешним устройством, и наоборот. Переферийные устрйства, связанные с обьектом управления, называются также устройствами сопряжения (УСО). Обычно они согласовывают сигналы, поступающие с датчиков, контролирующих параметры объекта с интерфейсом МПУ. Устройства сопряжения обычно включают в себя преобразователи аналоговых сигналов в цифровые (АЦП) и наоборот –цифровые в аналоговые (ЦАП), а также усилители сигналов. На основе МПУ создаются различные вычислительные устройства, рассчитанные на взаимодействие с человеком и содержащие в качестве средств связи клавиатуру и дисплей. Если же МПУ используется для управления различными техническими устройствами, объектами или техническими системами, то такие МПУ называются микропроцессорными контроллерами или просто микроконтроллерами. В настоящее время микроконтроллеры широко используются в автоматизированных электроприводах. Например, для плавного пуска двигателей большой мощности.

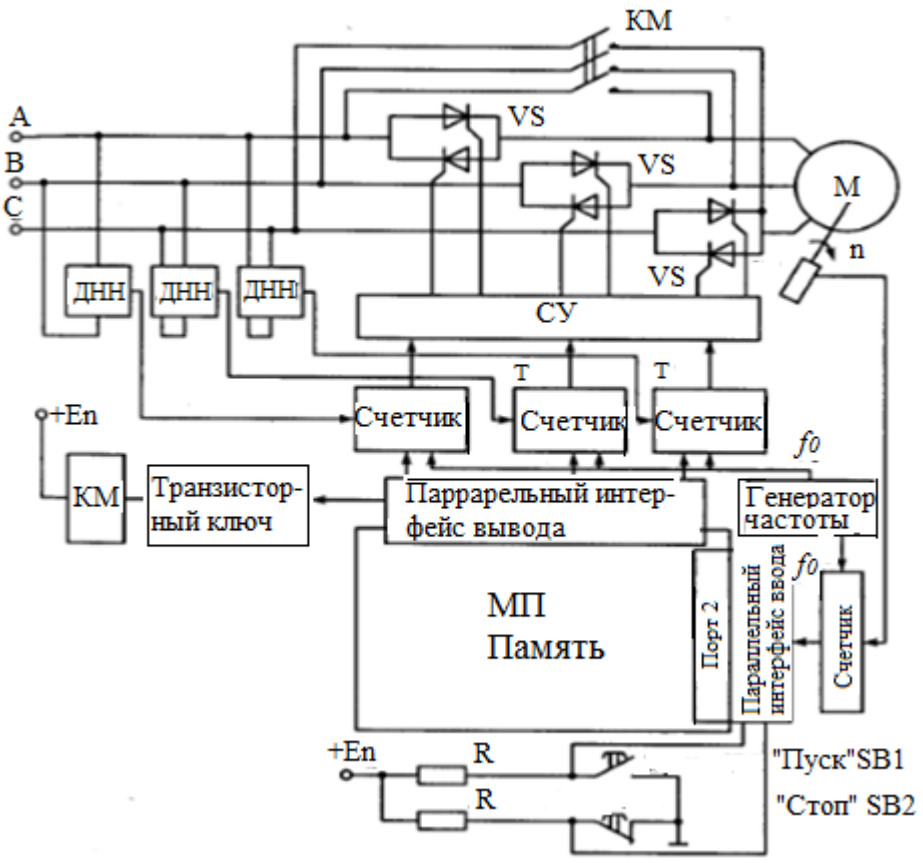


Рисунок 6.8 - Функциональная схема электропривода с микроконтроллером для пуска двигателя

Пуск двигателя осуществляется от трехфазной сети через встречно – включенные тиристоры VS в каждой фазе. Принцип плавного пуска двигателя реализуется за счет регулирования напряжения, подаваемого на обмотки двигателя, которое осуществляется изменением угла управления тиристорами VS по заданному закону. Система обеспечивает управление тиристорами, формируя импульсы управления в заданные моменты времени, соответствующие углам управления фиксирующие моменты начала отсчета угла включения α. Для этого в неё должны входить датчики нуля напряжения ДНН, фиксирующие моменты начала отсчета угла включения α и блока тиристоров (БТ). Сигналы с ДНН поступают на микропроцессорную систему и служат для запуска таймеров соответствующей фазы. Таймер представляет собой счетчик импульсов внутреннего генератора стабильной частоты. С приходом сигнала от ДНН этот счетчик начинает считать. От обычного счетчика таймер отличается наличием представки, т.е. определенного числа, при достижении которого счетчик таймера останавливается и выдаёт выходной сигнал. Этот сигнал подается на устройство управления тиристорами и служит для отпирания соответствующего тиристора. Счетчик таймера сбрасывается на ноль и ждет появления следующего импульса от соответствующей фазы ДНН. Каждый канал таймера подключается к микропроцессору через параллельный интерфейс вывода. На микропроцессор возлагается задача менять предуставки таймера в соответствии с выбранным законом изменения напряжения на двигателе АД. Этот закон может быть задан как некоторая функция, $u(t)$, где t – текущий момент времени пуска двигателя. В этом случае напряжение будет меняться по жесткому закону $u(t)$ вне зависимости от того, как будет происходить реальное увеличение число оборотов двигателя $u(t)$. После разгона двигателя до номинальной скорости , угол α становится равным нулю. Тиристоры имеет смысл шунтировать силовыми контактами контактора КМ, управление которым осуществляет микропроцессор. В зависимости от конкретных условий применения микроконтроллеры могут иметь различное конструктивное исполнение и быть смонтированы на одной или нескольких платах. В АЭП с силовыми электронными преобразователями для реализации алгоритмов управления и обеспечения полного набора функций могут применяться как 8 – разрядные (электроприводы низкого и среднего класса), так и высокопроизводительные 16 – разрядные микроконтроллеры (электроприводы высокого класса).

7 Лекция № 7. Унифицированные блоки систем управления. Регуляторы. Согласующие элементы

Содержание лекции:

- унифицированные блоки систем управления;

- регуляторы;
- согласующие элементы.

Цель лекции:

- изучение аналоговых унифицированных блоков системы управления;
- изучение регуляторов;
- изучение согласующих элементов.

7.1 Основные сведения об элементах унифицированных блоках систем регулирования

Совершенствование средств преобразовательной техники в течение последних десятилетий способствовало дальнейшему прогрессу в развитии регулируемого электропривода. Электрические двигатели принципиальных изменений не претерпели, хотя повышение класса изоляции позволили существенно интенсифицировать процессы в них и улучшить динамические показатели электрических машин. Регулируемые же источники питания двигателей изменились весьма значительно ввиду внедрения в электроприводы постоянного и переменного тока тиристорной техники.

Какие же регулировочные показатели были улучшены процессом преобразовательной техники? Прежде всего, значительно уменьшилась мощность сигналов управления на входе преобразователя. Если ранее (в прошлом веке) мощность сигнала управления, например в цепи возбуждения генератора и крупных машин, достигала несколько десятков киловатт, то в настоящее время мощность на входе систем импульсно – фазового управления СИФУ тиристорных преобразователей не превышает долей ватта и практически не зависит от его выходной мощности. Малая мощность входных цепей позволяет широко внедрять элементы полупроводниковой техники и унифицировать элементную базу схем управления электроприводов. Развитие полупроводниковой техники также способствовала уменьшению величины эквивалентной постоянной времени преобразователей. Величина постоянной времени, например, цепи обмотки возбуждения крупных генераторов составляет несколько секунд. В настоящее время динамические возможности электропривода ограничиваются инерционностью двигателя, а не преобразователя.

Применения малоинерционных преобразователей, с одной стороны, расширяет регулировочные возможности схемы управления, а с другой, - позволяет снизить относительный уровень требований к настройке её, так как заданные показатели качества регулирования могут быть достигнуты в более простых схемах и с меньшими затратами сил на их наладку. Сказанное позволяет стандартизировать целые схемы управления и унифицировать методы их расчета и наладки.

Стандартные элементы схем управления электроприводами получили название УБСР – унифицированная блочная система аналоговых регуляторов.

Серия элементов УБСР включает в себя усилители постоянного тока, датчики обратных связей, задающее устройства, функциональные преобразователи, источники питания и блоки связи. На усилителях постоянного тока совместно с блоками связи выполняются регуляторы различных типов. С помощью функциональных блоков осуществляются операции умножения, деления и введение различных нелинейностей. Элементы серии УБСР выполнены на стандартных транзисторных модулях.

Из них могут компоноваться блоки управления, размещаемые в шкафах. В настоящее время УБСР выполняются с применением интегральных микросхем.

7.2 Основные типы регуляторов

Регуляторами принято называть корректирующие устройства, выпоенные обычно на операционных усилителях и включенные в прямой канал замкнутой системы регулирования. Структурная схема одноконтурной системы регулирования с последовательным корректирующим устройством представлена на рисунке 7.1. На рисунке 7.1 передаточная функция объекта регулирования $W_O(p)$, передаточная функция регулятора $W_P(p)$ и передаточная функция датчика обратной связи $W_{OC}(p)$.

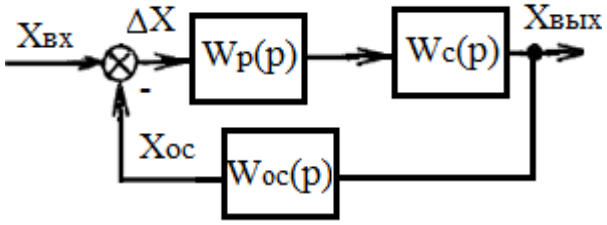


Рисунок 7.1 - Структурная схема одноконтурной системой регулирования с КУ

На рисунке 7.2 приведена в общем виде схема включения операционного усилителя для реализации передаточных функций различных регуляторов и для суммирования сигналов. Если коэффициент усиления операционного усилителя принять бесконечно высоким, то можно записать соотношение, связывающее входные напряжения U_1, U_2 и выходное U напряжение усилителя:

$$U = U_1 \cdot Z_{OC} / Z_1 + U_2 \cdot Z_{OC} / Z_2, \qquad (7.1)$$

где $Z_1(p)$, $Z_2(p)$, $Z_{OC}(p)$ – операторные сопротивления на входах и в цепи обратной связи усилителя.

Этим соотношением и пользуются на практике, хотя коэффициент усиления и входное сопротивление операционных усилителей не бесконечны.

Отсюда следует, что передаточная функция регулятора по каждому из входов равна отношению операторного сопротивления в цепи обратной связи к операторному сопротивлению на входе. Принципиальная схема регулятора представлена на рисунке 7.2.

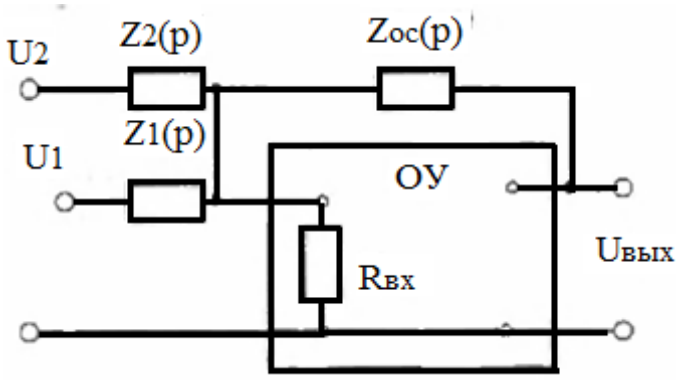


Рисунок 7.2 - Принципиальная схема регулятора выполненная на ОУ

Так как входная цепь усилителя потребляет ток, то точность реализации передаточных функций регуляторов (без учета погрешностей резисторов и конденсаторов) существенно зависит от величины токов в их входных цепях и цепи обратной связи. По этой причине приходится ограничивать наибольшие сопротивления в цепях регуляторов. Если в цепях входа и обратной связи усилителя включать различные элементы, изменяя характер, то можно.

7.3 Согласующие элементы

Функциональные элементы в составе систем управления - датчики, регуляторы, задающие блоки – могут быть разнородными по типу сигнала, роду тока, по сопротивлениям и так прочее. Поэтому при соединении элементов возникает задача согласования их характеристик. Эту задачу решают согласующие элементы. К данной группе элементов относятся фазовые детекторы, согласующие род тока, цифро – аналоговые и аналого-цифровые преобразователи, согласующие тип сигнала, эмиттерные повторители, согласующие входные и выходные сопротивления, усилители мощности, гальванические разделители и другие элементы. Функцию согласования могут выполнять также элементы , нормально предназначенные для других целей. Например, операционный усилитель оказывается эмиттерным повторителем относительно не инвертируемого входа при подключении выходного напряжения на инвертируемый вход. Для гальванического разделения может быть использован датчик напряжения.

Выделим из группы согласующих элементов для рассмотрения функционально более сложные и вместе с тем типовые элементы – фазовые детекторы, а также цифро – аналоговые и аналого-цифровые преобразователи.

Фазовый детектор (ФД) получил ещё ряд других названий: фазочувствительный усилитель, фазочувствительный выпрямитель, фазовый дискриминатор, демодулятор. В каждом названии дается попытка подчеркнуть основную функцию данного элемента в рассматриваемой схеме.

Назначение ФД – преобразование входного напряжения переменного тока U_{BX} в выходное напряжение постоянного тока $U_{ВыхX}$, полярность и амплитуда которого зависят от фазы входного напряжения. Таким образом, ФД имеет две входные координаты U_{BX} и φ и одну выходную координату $U_{ВыхX}$ (рисунок 7.3). Различают два режима работы ФД: амплитудный режим, когда фаза входного напряжения остается постоянной, принимая одно из двух значений 0 или 1, U_{BX}=var и $U_{ВыхX} = f(U_{BX})$, фазовый режим, когда $U_{BX} = const$ $\varphi = \text{var}$ и $U_{Вых} = f(\varphi)$.

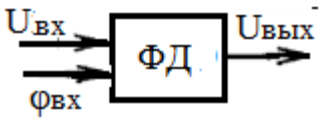


Рисунок 7.3 - Входные и выходные координаты фазового детектора

В амплитудном режиме ФД применяется как преобразователь сигнала рассогласования переменного тока в управляющий сигнал в следящих приводах постоянного тока, как преобразователь выходного сигнала тахогенератора переменного тока, как выходной каскад (демодулятор) в усилителях с промежуточным усилением на переменном токе и т. д.

В фазовом режиме ФД применяется в системах управления, в которых контролируемой и управляющей величиной является плавно изменяющаяся фаза. В этом режиме ФД получает питание от фазовращательных устройств.

На фазовый детектор, как правило, не возлагается функция усиления напряжения. Поэтому коэффициент усиления ФД близок к единице.

8 Лекция №8. Датчики угла и рассогласования. Датчики скорости. Датчики электрических величин

Содержание лекции:

- понятие датчика угла и рассогласования;
- сельсины и вращающиеся трансформаторы;
- тахогенератор постоянного тока;
- датчики то и напряжения.

Цель лекции:

- изучить применение и использование сельсинов и вращающиеся трансформаторы.

8.1 Сельсины и вращающиеся трансформаторы

Под термином «датчик угла» понимаются устройства, преобразующие угловую координату в электрическое напряжение. Это напряжение используется в системах АЭП как сигнал обратной связи по углу или как управляющий сигнал в задающих устройствах. Датчики угла находят применение в следящих системах для измерения угла поворота исполнительного вала. Задание на движение системы может выполняться также с помощью датчика угла, угловой координатой которого является угол поворота командной (задающей) оси. Разность сигналов этих двух датчиков, так называемое «рассогласование», подается как управляющий сигнал на вход системы. В этом случае оба датчика могут рассматриваться объединено как «датчик рассогласования». Задание на угловое перемещение может формироваться и без датчика угла с командной осью. Тогда используется эквивалент командной оси, т.е. заданная угловая координата выступает в закодированном виде, например, в форме цифровой программы. В таких системах с программным управлением выходной сигнал датчика угла исполнительного вала вводится в программное устройство, вырабатывающее задание на движение. В простейших случаях датчик угла используется как бесконтактный потенциометр, командоаппарат, фазовращатель.

Для датчик угла и рассогласования широкое применение нашли сельсины и вращающиеся трансформаторы.

Сельсин – небольшая электрическая машина переменного ток, имеющая две обмотки: однофазную (обмотку возбуждения) и трехфазную (обмотку синхронизации). По конструктивному признаку сельсины разделяются на два основных типа: контактные сельсины и бесконтактные сельсины. Основное исполнение первого типа – обмотка возбуждения расположена на роторе, обмотка синхронизации – на статоре. Этим уменьшается число контактных колен и исключается контакты на синхронизирующей связи. Идея бесконтактного сельсина реализуется двумя способами. При первом способе благодаря специальной конструкции магнитопровода ротора неподвижная кольцевая обмотка возбуждения создает в роторе поток, поворачивающийся вместе с ротором. Во втором способе обмотка ротора получает питание от вращающейся совместно с ротором вторичной обмотки кольцевого трансформатора возбуждения с неподвижной первичной обмоткой.

В схемах датчиков угла входная координата сельсина – угол поворота его ротора θ, а выходные координаты – $U_{ВЫХm}$ или фазы φ выходного напряжения по отношению к переменному опорному напряжению (рисунок 8.1).

Рисунок 8.1 - Сельсин

В зависимости от использования той или другой выходной координаты различают амплитудный режим, когда $\varphi = const$ (0 или π), а $U_{ВЫХm} =$ f(θ) и режим фазовращателя, когда $U_{ВЫХm} = const$, а φ = f(θ). В амплитудном режиме обмотка возбуждения получает питание от сети переменного тока (рисунок 8.2):

$$U_B = U_{Bm} \sin(\omega t). \tag{8.1}$$

Магнитный поток, действующий по осевой линии обмотки возбуждения, наводит соответствующие ЭДС в фазах обмотки статора. Пренебрегая потоком рассеяния и активным сопротивлением обмотки возбуждения, имеем для фазных ЭДС следующие выражения:

$$e_A = k_T U_{Bm} \cos(\theta) \sin(\omega t); \tag{8.2}$$

$$e_B = k_T U_{Bm} \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) \sin(\omega t);$$

$$e_C = k_T U_{Bm} \cos(\theta - \frac{4\pi}{3}) \sin(\omega t).$$

где $k_T = E_m / E_{Bm} \approx E_m / U_{Bm}$ - коэффициент трансформации между фазной статорной и роторной обмотками при их соосном положении.

За начало отсчета угла поворота ротора принята осевая линия обмотки фазы А статора. Линейная ЭДС определится разностью соответствующих фазных ЭДС:

(8.3)

$$e_{AB} = e_A - e_B = \sqrt{3} f e_T U_{Bm} \sin(\frac{\pi}{3} - \theta) \sin(\omega t).$$

Если начало отсчета угла переместить на $\pi/3$ в направлении к фазе В, то относительно угла $\theta' = \pi/3 - \theta$ в новой системе отсчета:

(8.4)

$$e_{AB} = \sqrt{3} k_T U_{Bm} \sin(\theta') \sin(\omega t).$$

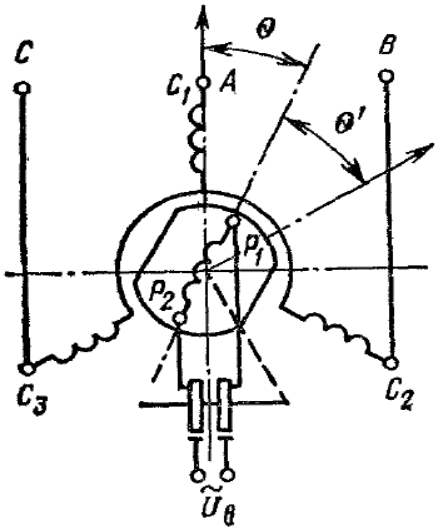


Рисунок 8.2

Характеристика управления сельсина в амплитудном режиме приобретает синусоидальную закономерность:

$$E_{Bm} = \sqrt{3} k_T U_{Bm} \sin(\theta'). \tag{8.5}$$

Положительные значения E_{Bm} соответствуют $\varphi = 0$, а отрицательные $\varphi = \pi$.

Для малых θ', когда $\sin(\theta') \approx \theta'$,

$$E_{Bm} \approx k_C \theta', \tag{8.6}$$

где

$$k_C = \sqrt{3} k_T U_{Bm} \tag{8.7}$$

- передаточный коэффициент сельсина в амплитудном режиме.

В режиме фазовращателя обмотка статора получает питание от источника трехфазного напряжения с неизменной амплитудой. Образующееся круговое вращающееся поле в любой фиксированной точке статора, удаленной от оси отсчета (оси фазы А) на угол φ, характеризуется магнитным потоком:

$$\Phi = \Phi_{\text{m}} \cos(\omega t - \varphi). \tag{8.8}$$

Следовательно, в обмотках ротора, ось которой сдвинута на угол $\varphi = 9$ относительно начала отсчета, наводится ЭДС:

$$e_{вых} = \frac{\text{E}_{1\text{m}}}{\text{k}_\text{T}} \cos(\omega t - \varphi), \tag{8.9}$$

где E_{1m} – амплитуда фазной ЭДС статора, В.

Характеристика управления сельсина в режиме фазовращателя определяется равенством:

$$\varphi = 0. \tag{8.10}$$

В системах, в которых требуются более точное измерение угловой координаты, вместо сельсинов применяются синусно – косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ). По своему устройству СКВТ – двухфазная микромашина переменного тока. Неявнополюсные статор и ротор имеют по две взаимно перпендикулярные обмотки: обмотку возбуждения и квадратурную на статоре, синусную и косинусную обмотки на роторе (рисунок 8.3 а):

$$u_B = U_{Bm}\sin(\omega t). \tag{8.11}$$

Тогда в разомкнутых роторных обмотках наводятся ЭДС, амплитуды которых оказываются функциями угла поворота ротора:

$$E_{dm} = k_T U_{Bm}\cos(\theta) = E_m\cos(\theta). \tag{8.12}$$

Для синусной обмотки, расположенной на оси q:

$$E_{qm} = k_T U_{Bm}\sin(\theta) = E_m\sin(\theta), \tag{8.13}$$

где k_T – коэффициент трансформации между обмоткой возбуждения и каждой роторной обмоткой при их соосном положении.

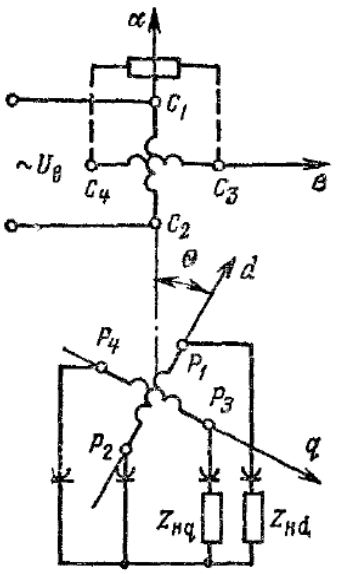


Рисунок 8.3

8.2 Датчик скорости

Датчик скорости – преобразователь угловой скорости двигателя или движения рабочего органа механизма в электрический сигнал. В системах АЭП датчик скорости используется для реализации обратной связи по скорости. В качестве датчика скорости широко применяются тахогенераторы – микромашины постоянного и переменного токов.

Тахогенератор постоянного тока представляет собой электрическую машину постоянного тока с независимым возбуждением или постоянными магнитами (рисунок 8.4).

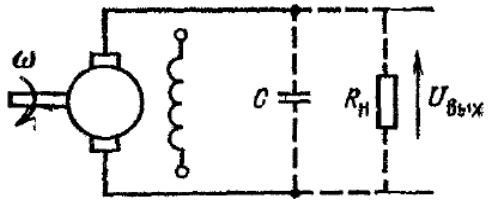


Рисунок 8.4 - Схема тахогенератора постоянного тока

Входная координата тахогенератора – угловая скорость ω, а выходная – напряжение, $U_{вых}$ выделяемое на сопротивлении нагрузки. Так как

$$E_{T,Г} = \mathrm{k}\Phi\omega = \mathrm{I}(\mathrm{R}_{T,Г} + R_Н),$$

то

$$U_{ВЫХ} = \frac{\mathrm{k}\phi}{1 + \mathrm{R}_{\mathrm{E,Г}}/\mathrm{R}_{\mathrm{Н}}}\omega = k_{T,Г}\omega, \qquad (8.14)$$

где

$$\mathrm{k}_{\mathrm{T,Г}} = \frac{\mathrm{k}\phi}{1 + \mathrm{R}_{\mathrm{E,Г}}/\mathrm{R}_{\mathrm{Н}}}. \qquad (8.15)$$

Уравнение (8.15) – передаточный коэффициент тахогенератора, (В·с/рад.);

$\mathrm{k} = \mathrm{pN}/2\pi\mathrm{a}$ - конструктивная постоянная;

Ф – магнитный поток возбуждения, Вб;

$\mathrm{R}_{T,Г}$ - сопротивление якорной обмотки и щеточного контакта, Ом.

Передаточный коэффициент, строго говоря, не остается постоянным при изменении скорости из – за нелинейности сопротивления щеточного контакта и реакции якоря. Поэтому в характеристике управления наблюдается определенная нелинейность в зонах малой и большой скоростей. Нелинейность в зоне малой скорости уменьшает применение металлизированных щеток с малым падением напряжения. Нелинейность характеристики из – за реакции якоря снижается ограничением сверху скорости и увеличением сопротивления нагрузки. При выполнении указанных мероприятий характеристику управления тахогенератора можно считать

практически прямолинейной. На работу тахогенератора существенное влияние оказывают конструктивно – технические погрешности. Это коллекторные пульсации напряжения, обусловленные конечным числом коллекторных пластин, пульсации из – за зубцовой конструкции якоря, оборотные пульсации, вызванные несимметрией воздушного зазора. Погрешность от указанных несимметрий сильнее искажают выходной сигнал тахогенератора в области низких скоростей. При снижении скорости уменьшается их частота и увеличивается амплитуда относительно уровня передаваемого сигнала. Эти погрешности ограничивают нижний предел скорости тахогенератора. Для уменьшения перечисленных пульсаций тахогенераторы выполняются с повышенным числом коллекторных пластин, со скошенными по винтовой линии на одно зубцовое деление пазами якоря, с увеличенным воздушным зазором. Тахогенераторы высокой точности выполняются с полым безпазным якорем. Для дополнительного снижения пульсации к выходу тахогенератора подключают конденсатор (рисунок 8.4), при этом передаточная функция тахогенератора приобретает вид:

$$W_{T,\Gamma}(\mathrm{p}) = \frac{\mathrm{U}_{\text{вых}}}{\omega(\mathrm{p})} = \frac{k_{T,\Gamma}}{\mathrm{T}_{\phi}\mathrm{p}+1}. \qquad (8.16)$$

Конденсатор выполняет функцию фильтра высокочастотных пульсаций.

Тахогенераторы переменного тока выполнены на базе асинхронной двухфазной машины. На статоре имеются две взаимно перпендикулярные обмотки: обмотка возбуждения, расположенная по оси α (фаза а), и выходная управляющая обмотка, расположенная по оси β (фаза β) и включенная на сопротивление нагрузки тахогенератора Z_H (рисунок 8.5). Для уменьшения момента инерции ротор выполняется тонкостенным в виде полого стакана из немагнитного материала (обычно алюминиевого сплава). Внутри ротора размещается неподвижный стальной шихтованный сердечник, по которому замыкается магнитный поток.

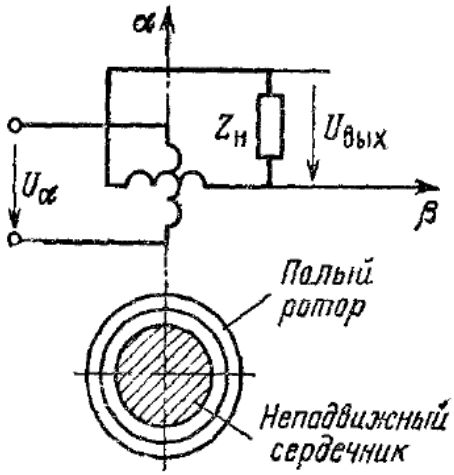


Рисунок 8.5 - Схема асинхронного двухфазного ТГ переменного тока

В современных системах АЭП с большими диапазонами регулирования скорости и высокими требованиями к её стабилизации точность тахогенератора может оказаться недостаточной. Для таких систем используются *цифровые датчики скорости* (ЦДС). Функционально в ЦДС можно выделить две основные части: импульсный преобразователь скорости – датчик импульсов ДИ, преобразующий угловую скорость вала в импульсы с частотой f, пропорциональной скорости, и кодовый преобразователь – счетчик импульсов СИ, формирующий на интервале измерения T цифровой код А выходной величины датчика скорости (рисунок 8.6):

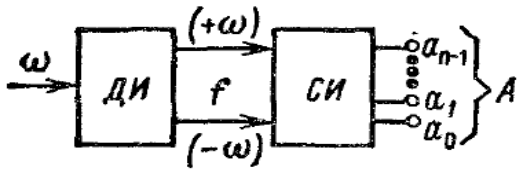


Рисунок 8.6 - Структурная схема цифрового датчика скорости

Датчик импульсов может быть выполнен на основе индуктосина или фото – электрического кодового диска. В любом варианте датчик импульсов вырабатывает две серии импульсов, сдвинутых по фазе на $\pi/2$, которые используются для определения угловой скорости и её знака. На рисунке 8.7 изображен кодовый диск фотоэлектрического датчика импульсов.

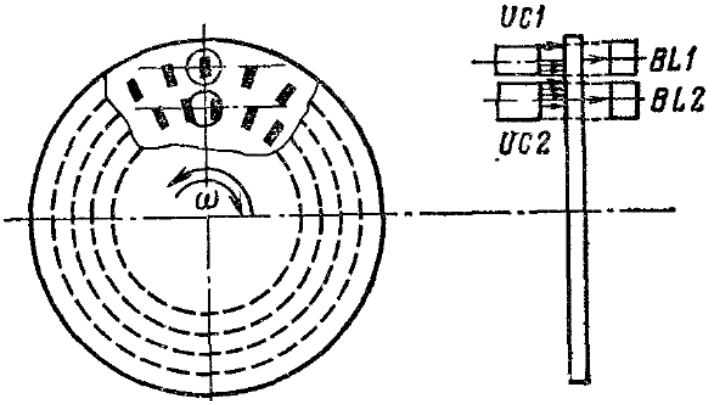


Рисунок 8.7 - Кодовый диск фотоэлектрического датчика импульсов

На двух дорожках расположены пропускающие свет щели. Свет от источников

ИС1 и ИС2 через щели попадает на фотодиоды BL1 b BL2, которые при этом открыты и пропускают ток. Когда щель выходит из луча света, фотодиоды запирают цепь. При вращении диска с угловой скоростью ω BL1 b BL2 дают чередование максимального и минимального сигналов. Токовый сигнал фотодиода изменяется по форме и амплитуде при изменении скорости вращения. Поэтому для получения стабильных сигналов с неизменными

амплитудой и продолжительностью в состав датчика импульсов входит узел формирования выходных импульсов (рисунок 8.8).

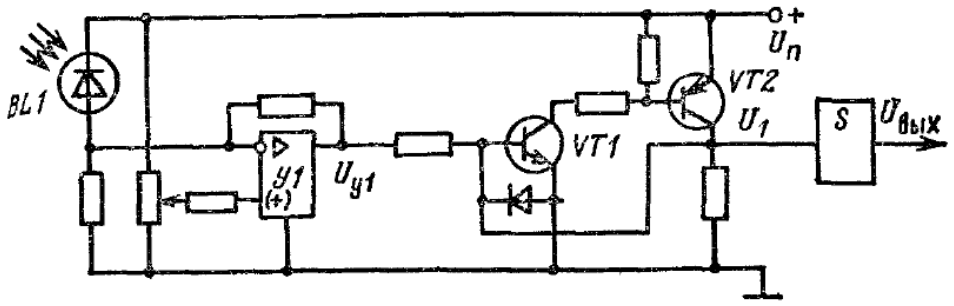


Рисунок 8.8 - Схема датчика импульсов

В усилителе У1 токовый сигнал фотодиода BL1усиливается и симметрируется по полярности U_{Y1}. Усилитель, собранный на транзисторах VT_1 и VT_2 и работающий с использованием положительной связи в релейном режиме, дает на выходе прямоугольные импульсы U_1 с постоянной амплитудой, равной U_n, но с переменной продолжительностью.

8.3 Датчики электрических величин

В системах АЭП регулируемыми координатами являются не только механические величины – угол поворота, скорость, ускорение, но и электрические величины такие, как ток, напряжение, ЭДС, мощность. Для измерения этих координат используются соответствующие датчики. К числу типовых можно отнести датчики тока (ДТ) и напряжения (ДН). Эти датчики наиболее часто применяются, на их основе строятся датчики ЭДС и мощности. Назначение ДН и ДТ – преобразование входной величины – напряжения или тока цепи преобразователя, двигателя в выходной сигнал. пропорциональный входной величине. Датчики могут выполнять одновременно и функции согласующего элемента – потенциального разделителя, усилителя по напряжению, мощности. В зависимости от вида выходного сигнала датчики разделяются на аналоговые и дискретные (цифровые). На рисунке 8.9 *а* изображена обобщенная структурная схема аналогового ДН и ДТ, а на рисунке 8.9 *б* - обобщенная структурная схема цифровых датчиков.

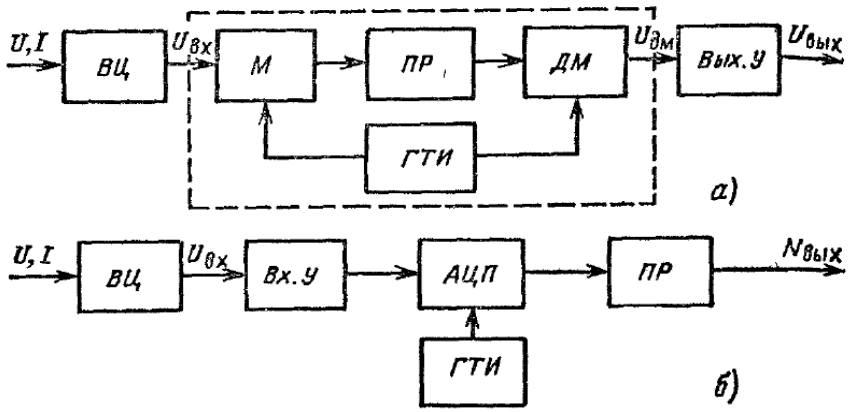


Рисунок 8.9 - Структурная схема аналоговых (а) и цифровых датчиков напряжения и тока (б)

В состав аналогового датчика с выходным напряжением, но постоянном токе можно выделить три части: входную цепь ВЦ, потенциальный разделитель ИР и выходной усилитель *Вых.* Y. Собственно, датчиком является входная цепь – делитель напряжения, шунт, трансформатор напряжения или тока с выпрямителем, Эта цепь преобразует измеряемые напряжения или ток во входное напряжение постоянного тока $U_{ВХ}$. Потенциальный разделитель гальванически разъединяет входной и выходной сигналы. Для осуществления в данном датчике потенциального разделения с помощью трансформатора необходимо иметь во входе трансформатора модулятор М, а на выходе – демодулятор ДМ, работающие вместе с коммутирующим устройством – генератором тактовых импульсов ГТИ. Выходной усилитель формирует усиленный по напряжению и мощности выходной сигнал датчика $U_{ВЫХ}$. Характеристики управления ДН и ДТ без учета погрешностей прямолинейны.

В отличие от безразмерного коэффициента ДН $k_{ДН}$ коэффициент ДТ $k_{ДТ}$ имеет размерность (Ом), поскольку вводная цепь представляет собой шунт, с которого снимается напряжение. Цифровые ДН и ДТ имеют также в своем составе вводную цепь, потенциальный разделитель и усилитель, но для формирования цифрового выходного сигнала $N_{ВЫХ}$ снабжены АЦП (рисунок 8.9 б).

На основе рассмотренных датчиков, ДН и ДТ, с использованием регуляторов и согласующих элементов могут составляться схемы датчиков различных величин, непосредственное измерение которых затруднено. В таких датчиках реализуется косвенное выделение измеряемой величины на основании известных соотношений, которые связывают величину с величинами, непосредственно измеряемыми с помощью имеющихся датчиков. Например, датчик мощности цепи постоянного тока можно составить из датчиков напряжения, тока и блока умножения, в котором

перемножаются выходные величины датчиков напряжения и тока. Датчик производной тока якоря можно составить из датчиков ЭДС преобразователя, тока и скорости двигателя, выходные величины которых алгебраически суммируются в усилителе с учетом знаков и коэффициентов, определяемых уравнением якорной цепи системы преобразователь – двигатель. Аналогично могут строится и комплексные датчики неэлектрических величин – момента, ускорения и т.д.

9 Лекция №9. Цифроаналоговые и цифровые элементы автоматизированного электропривода

Содержание лекции:

- цифроаналоговая система стабилизации скорости электропривода, ее компоненты, устройство и принцип действия;
- цифровая система стабилизации скорости электропривода, ее компоненты, устройство и принцип действия.

Цели лекции:

- освоить основные принципы построения цифроаналоговых и цифровых систем стабилизации скорости;
- изучить назначение и принцип действия рассматриваемых систем и основных функциональных элементов.

9.1 Цифроаналоговые и цифровые системы стабилизации скорости

Цифроаналоговые системы стабилизации скорости и момента двигателя, как и аналоговые системы, выполняются по структуре с подчиненным регулированием координат. Они содержат аналоговую и цифровую часть и поэтому называются цифроаналоговыми. Аналоговыми элементами таких систем являются преобразователи и двигатели. Вследствие способности датчиков тока точно измерять ток двигателя, контуры тока в системе также выполняются аналоговыми. Цифровая часть системы электропривода относится к контуру регулирования скорости и включает в себя цифровые устройства задания скорости и информационно - измерительные устройства скорости в виде датчика и регулятора скорости.

В системах с меньшей точностью регулирования скорости контур скорости делают комбинированным – цифроаналоговым. Пропорциональная часть регулятора скорости является аналоговой, а интегрирующая – цифровой. Задание скорости в таких системах является цифровым. Функциональная схема системы приведена на рисунке 9.1. Задание скорости электропривода вводится в форме числа $N_{ЗС}$ с помощью устройства ввода задания *SZ*. Темп нарастания задающего напряжения, а соответственно и скорости обеспечивается цифровым задатчиком интенсивности *SJZ*. Далее

цифровой сигнал задания $N'_{ЗС}$ цифроаналоговым преобразователем (ЦАП) *UZV* преобразуется в аналоговый сигнал задания скорости $U_{ЗС}$, подается на аналоговый регулятор скорости *AR*. Одновременно число $N'_{ЗС}$ в управляемом делителе частоты *A1* определяет частоту следования импульсов задания скорости $f_З$, которые получаются из импульсов эталонной частоты $f_Э$, задаваемых высокостабильным кварцевым генератором *Gf*.

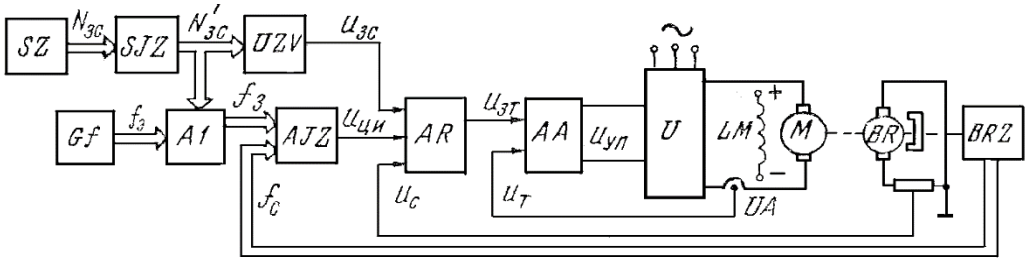
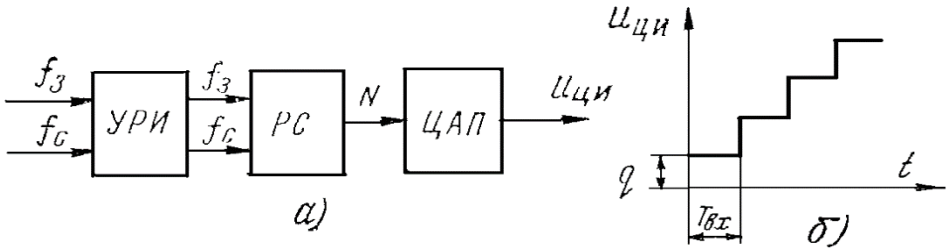


Рисунок 9.1 - Функциональная схема цифроаналоговой системы стабилизации скорости электропривода

Импульсы задания с частотой $f_З$ поступают в цифровой интегратор (ЦИ) *AJZ*, являющийся интегрирующей частью регулятора скорости и на который также подаются импульсы обратной связи по скорости, следующие с импульсного датчика скорости *BRZ* с частотой $f_С$, пропорциональной текущей скорости двигателя. ЦИ состоит из трех основных узлов: узла разделения импульсов задания и обратной связи по времени **(**УРИ**),** реверсивного счетчика РС и ЦАП (рисунок 9.2, *а*). УРИ распределяет во времени импульсы с частотами $f_З$ и $f_С$, чтобы они поступали на РС последовательно, т. е. $f_З$ во время пауз $f_С$ и наоборот $f_П$ - во время пауз $f_С$. Реверсивный счетчик имеет два входа: сложение и вычитание, на которые соответственно поступают последовательно импульсы $f_З$ и $f_С$. РС считает количество импульсов $f_З$ и $f_С$. При этом, если $f_С = f_З$ т. е. скорость двигателя равна заданной, счетчик на выходе числа не меняет; если $f_С < f_З$ (скорость двигателя ниже заданной), то счетчик сосчитает число $+f = f_З - f_С$, что повысит на выходе ЦАП цифрового интегратора напряжение $U_{ЦИ}$, являющееся интегральной составляющей рассогласования регулятора скорости, и соответственно напряжение $U_{ЗТ}$ и скорость двигателя (рисунок 9.1). Если $f_С > f_З$, т. е. скорость двигателя выше заданной, то счетчик сосчитает число $-f = f_С - f_З$, что снизит на выходе $U_{ЦИ}$ значение, а затем $U_{ЗТ}$ и скорость двигателя. Таким образом, счетчик обеспечивает интегрирование рассогласования между импульсом задания и обратной связи, следующими с частотами $f_З$ и $f_С$, которое в ЦАП ЦИ превращается в аналоговый сигнал интегральной составляющей рассогласования $U_{ЦИ}$, величина которого пропорциональна числу, записанному в счетчике. Далее сигнал $U_{ЦИ}$, складываясь арифметически с $U_{ЗС}$ в *AR*, обеспечивает повышение или снижение скорости двигателя.



а – функциональная схема; *б* –характеристика.
Рисунок 9.2 - Цифровой интегратор

Работа ЦИ иллюстрируется на рисунке 9.2, *б*, где приведена его переходная функция $U_{ЦИ}(t)$ при постоянной частоте входного сигнала $f_{вх}$. Как видно, сигнал на выходе ЦИ увеличивается дискретно на дискрету $q=U_{ЦИмах}/N$, где N цифровая емкость счетчика ЦИ, при поступлении каждого входного импульса с периодом их следования $T_{вх}=1/f_{вх}$. При больших значениях и высокой частоте входных импульсов переходная функция ЦИ практически превращается в прямую линию.

Выходное напряжение ЦИ и его полярность определяются интегралом разности входных частот (задания и обратной связи):

$$u_{си} = q\int_0^t (f_Б - f_Ж)dt = q\int_0^t fdt \qquad (9.1)$$

или

$$u_{си} = q_1\Delta\varphi, \qquad (9.2)$$

где $q_1 = q/(2\pi)$; $\Delta\varphi$ - разность фаз последовательностей импульсов входных частот.

Переходная функция ЦИ в дискретной форме описывается уравнением

$$u_{си}(1-e_к^{-7}) = qT_к. \qquad (9.3)$$

Если $e_{вх}^{-7}$ разложить в степенной ряд и ограничить двумя первыми членами разложения, то

$$e_к^{-7} = 1 - T_к p. \qquad (9.4)$$

Тогда

$$u_{си}T_{си}p = T_к, \qquad (9.5)$$

где $T_{ЦИ}=T_{вх}/q$ – постоянная времени интегратора.

Более точная система регулирования скорости получается при наличии цифрового контура скорости. Функциональная схема системы приведена на рисунке 2.14. В такой системе электропривода задание скорости может осуществляться скачком или в виде временной функции с использованием цифрового задатчика интенсивности *SJZ,* обеспечивающего требуемый темп нарастания сигнала задания скорости $N'_{ЗС}(nT_0)$ и соответственно скорости двигателя. Сигнал обратной связи по скорости обеспечивается импульсным датчиком скорости *BRZ.* Импульсы датчика скорости подсчитываются счетчиком РС за фиксированный дискретный интервал времени T_0,

определяемый частотой дискретизации f_0 цифровой системы $(T_0=1/f_0)$. Частота дискретизации задается от высокостабильного кварцевого генератора эталонной частоты *Gf* через делитель частоты *AZ* $(f_0=f_Э/k_д)$. Текущая скорость электродвигателя в момент времени $t=nT_0$ пропорциональна числу подсчитанных импульсов:

$$\omega[nT_0]=m\frac{2\pi}{zT_0}, \tag{9.6}$$

где m - число импульсов датчика скорости за интервал времени $[(n-1)T_0-nT_0]$;
z – число импульсов датчика за один оборот его вала.

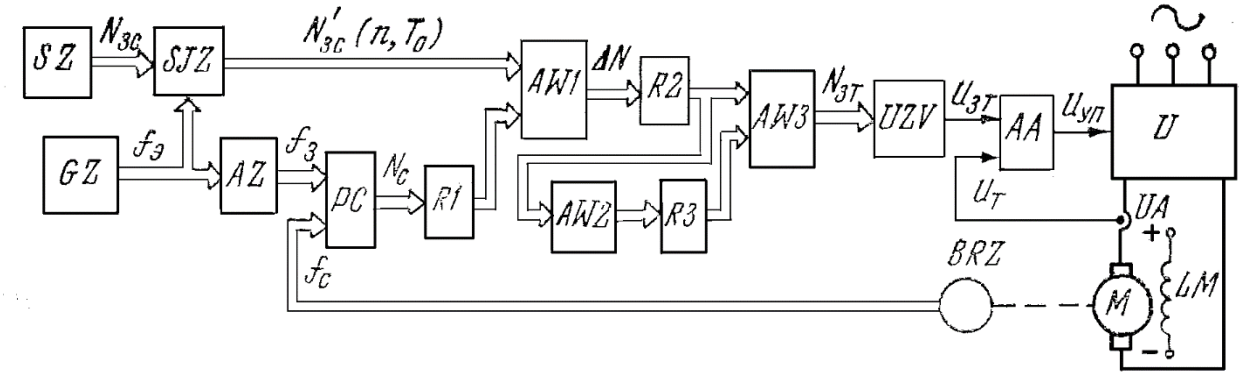


Рисунок 9.3 - Функциональная схема цифровой системы стабилизации скорости электропривода

На выходе счетчика РС по истечении интервала времени получается число $N_c[nT_0]$ как цифровой сигнал обратной связи по скорости. Это число запоминается в регистре *R1* до начала следующего периода $[nT_0 - (n+1)T_0]$ и затем сравнивается в сумматоре *AW1* с числом задания скорости $N_{ЗС}$. На выходе *AW1* получается разница в виде числового сигнала управления:

$$\Delta N[nT_0]=N_{СБ}[nT_0]-N_C[nT_0], \tag{9.7}$$

которое запоминается в регистре R2 и далее подается в ЦАП *UZV*, если в системе используется пропорциональный регулятор скорости, работающий по алгоритму

$$N_{ТБ}[nT_0]=k_1\Delta N[nT_0], \tag{9.8}$$

где k_1 - масштабный коэффициент.

Если в системе используется ПИ-регулятор скорости, работающий по алгоритму

$$N_{ТБ}[nT_0]=k_1\Delta N[nT_0]+\kappa_2\Sigma\Delta N[nT_0], \tag{9.9}$$

то в цифровой части применяются дополнительно сумматор *AW2* и регистр *R3*. Интегральная составляющая получается посредством последовательного алгебраического суммирования текущих значений отклонения скорости $\sum\Delta N$ $[nT_0]$ в накапливающем сумматоре *AW2* и последующего запоминания результата в регистре *R3*.

Цифровой регулятор скорости и другие цифровые устройства реализуются на базе стандартных блоков, выпускаемых промышленностью [4]. Реализация этих устройств упрощается, если управление электроприводом производится от ЭВМ, в которую заложена соответствующая программа [9].

В последнее время разрабатываются системы регулирования скорости с управлением тиристорным преобразователем непосредственно от ЭВМ без системы импульсно-фазового управления (СИФУ), которое назвали прямым управлением. В таких системах аналоговой частью системы является только силовая часть «выпрямитель – двигатель», а контуры тока и скорости – цифровые. «Прямое» управление обеспечивает ЭВМ, которая также выполняет функции СИФУ, т. е. формирует и в требуемые моменты времени подает импульсы управления на тиристоры выпрямителя. Работа цифровых регуляторов скорости и тока обеспечивается в ЭВМ программными способами.

10 Лекция №10. Аналоговые и цифроаналоговые системы управления положением позиционного электропривода

Содержание лекции:

- функциональная и принципиальная схемы аналоговой системы управления положением, устройство и принцип действия;
- принципы построения цифроаналоговых систем управления положением, функциональная схема, устройство и принцип действия.

Цели лекции:

- освоить основные принципы построения аналоговых и цифровых систем управления положением позиционного электропривода;
- изучить назначение и принцип действия рассматриваемых систем и основных их функциональных элементов.

При автоматизации механизмов, основным рабочим движением которых является угловое или линейное перемещение исполнительного органа и его остановка в требуемых положениях, широкое распространение получил позиционный электропривод с системами управления положением. Автоматическое управление положением бывает двух видов:

а) дискретное позиционирование электропривода в заданных точках пути по дискретным сигналам путевых датчиков;

б) непрерывное автоматическое управление положением по отклонению для осуществления дозированных перемещений или по заданной программе.

Независимо от способа управления электропривод обеспечивает дискретное или непрерывное задание позиции или значения перемещения; контроль перемещения в позиции, определяемый требуемой точностью

останова исполнительного органа и производительностью рабочей машины, зависящей от скорости перемещения в заданную позицию; точный останов в заданной позиции.

При дискретном позиционировании задается определенное конечное положение движения исполнительного органа. Контроль этого положения осуществляют дискретные датчики положения – контактные и бесконтактные конечные или путевые выключатели с погрешностью срабатывания 1 – 0,01 мм. В этом случае обычно используются разомкнутые системы управления электроприводом, обеспечивающие остановку электродвигателя в заданной позиции с наложением механического тормоза. Такой вид управления применяется при невысокой точности позиционирования с редко переналаживаемым циклом перемещений.

При непрерывном управлении положением контроль положения исполнительного органа производится непрерывно в течение всего перемещения до остановки в заданном положении. С этой целью используют непрерывные аналоговые или цифровые датчики перемещения, характеризуемые высокой точностью (до 0,001 мм). В этом случае применяют замкнутые системы электропривода. Такой вид управления целесообразен в системах позиционирования высокой точности с часто переналаживаемым циклом перемещений. Точные системы позиционирования строятся по принципам подчиненного регулирования с двигателями постоянного тока, причем к внутренним контурам тока и скорости добавляется аналоговый или цифровой контур положения.

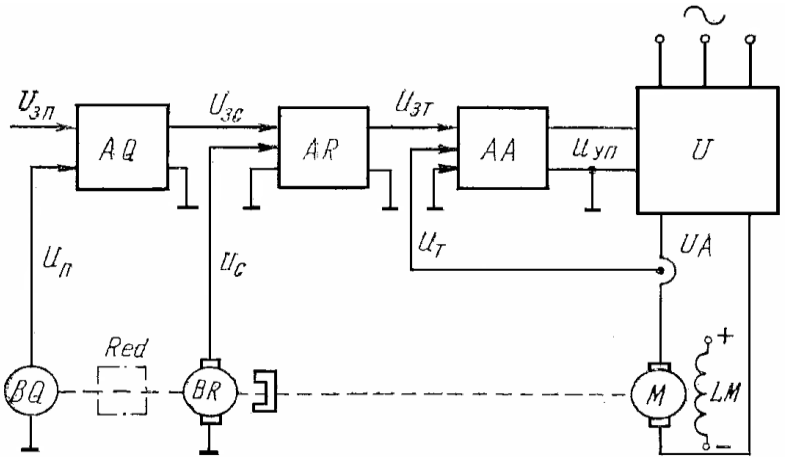


Рисунок 10.1 - Функциональная схема аналоговой системы управлением положением

Функциональная схема аналоговой системы управления положением приведена на рисунке 10.1. В ней используется тиристорный электропривод постоянного тока с трехконтурной системой управления, построенной по принципу подчиненного регулирования скорости и тока с контурами тока, скорости и положения. Сигнал задания положения $U_{ЗП}$ подается на регулятор

положения *AQ*, на который также с датчика положения *BQ* подается сигнал обратной связи по положению U_n. Внутренние контуры скорости и тока выполнены, как в системах стабилизации скорости [3,5]. В таких системах управления позиционного электропривода в качестве датчиков перемещения обычно используются датчики углового перемещения в виде сельсинов или поворотных трансформаторов, валы которых соединяются как с валом двигателя, так и с валом ИОРМ непосредственно или через редукторы (рисунок 10.2). Для преобразования сигнала управления переменного тока определенной фазы, идущего с сельсина или поворотного трансформатора, в сигнал управления постоянного тока определенной полярности в схеме используются фазочувствительные выпрямители (ФЧВ) *UB*. Задание положения обеспечивается задатчиком (сельсином-датчиком *BC),* который поворачивается на требуемый заданный угол $\theta_З$, определяющий требуемое перемещение ИОРМ. Текущее положение ИОРМ контролируется датчиком положения, который называется сельсином-приемником *BE*. Задачей рассматриваемой системы управления является точная остановка двигателя и соответственно ИОРМ в заданном положении. Это произойдет, когда двигатель или ИОРМ отработает заданный угол $\theta_З$ и угол сельсина приемника BE станет равным углу задания ($\theta_П = \theta_З$), а рассогласование будет равно нулю ($\theta_З - \theta_П = \Delta\theta = 0$).

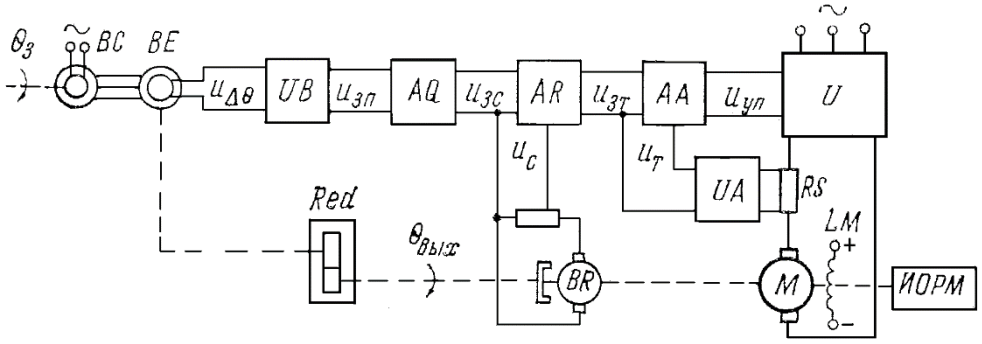


Рисунок 10.2 - Упрощенная принципиальная схема аналоговой системы управления положением

При высоких требованиях к позиционированию применяются цифроаналоговые системы управления положением. Так как система позиционирования не предъявляет высоких требований к точности регулирования скорости и тока электропривода, то система выполняется с аналоговыми контурами тока и скорости и цифровым контуром положения. Функциональная схема такой системы приведена на рисунке 10.3.

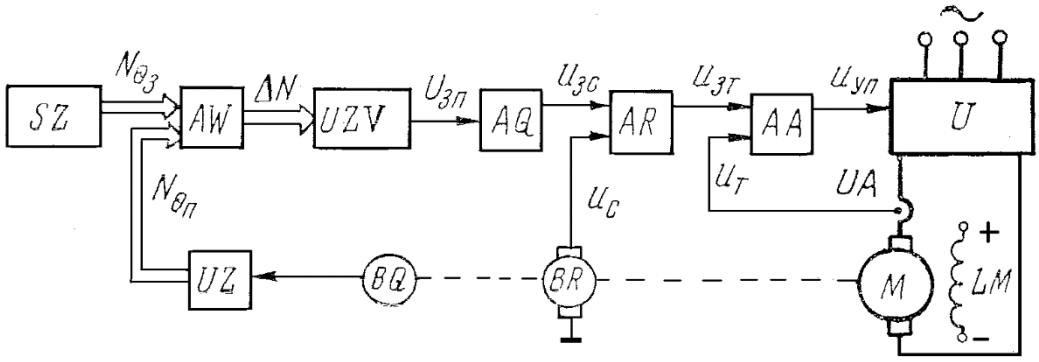


Рисунок 10.3 - Функциональная схема цифроаналоговой системы управления положением

Схема содержит аналоговую часть системы в силовой части с преобразователем и двигателем и в системе управления с контурами тока и скорости с аналоговыми регуляторами *AA* и *AR* и датчиками тока и скорости *UA, BR.* Регулятор положения выполнен как цифроаналоговый с аналоговой частью *AQ.* В цифровую часть контура положения входят арифметическое устройство (АУ) *AW,* цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) *UZV.* Арифметическое устройство получает на вход цифровой сигнал задания положения $N_{\Theta З}$ с цифрового устройства ввода задания *SZ* и цифровой сигнал $N_{\Theta П}$, соответствующий реальному положению. Этот сигнал подается от датчика положения *BQ* и преобразуется в цифровой сигнал преобразователем кода *UZ.* Числа $N_{\Theta З}$ и $N_{\Theta П}$ поступают в АУ в двоично-параллельном коде. АУ сравнивает $N_{\Theta З}$ и $N_{\Theta П}$ и вырабатывает на входе числовой сигнал управления, равный разности $\Delta N = N_{\Delta\theta} = N_{\Theta З} - N_{\Theta П}$. Это число с помощью цифроаналогового преобразователя *UZV* преобразуется в аналоговый сигнал задания положения $U_{ЗП}$, поступающий на аналоговую часть РП. Остальная часть системы работает как аналоговая.

11 Лекция №11. Цикловые системы программного управления электроприводами

Содержание лекции:

- назначение, устройство и принцип действия цикловых систем программного управления электроприводами с жесткой неизменяемой программой;
- устройство и принцип действия цикловых систем программного управления электроприводами с программируемым контроллером.

Цели лекции:

- освоить основные принципы построения цикловых систем программного управления электроприводами;

- изучить устройство и принцип действия цикловых систем программного управления электроприводами и отдельных ее компонентов.

Цикловые СПУ обеспечивают работу одного или нескольких объектов управления, в которых ИОРМ осуществляют различные движения с повторяющимися одинаковыми циклами. Последовательность этих движений задается управляющей программой [9].

Управляющие программы в системах ЦПУ выполняются в виде жесткой неизменяемой и изменяемой программ. Жесткая неизменяемая управляющая программа задается в виде определенной схемы электроавтоматики, включение и отключение управляющих элементов которой производится по времени или по технической готовности ИОРМ.

Изменяемые жесткие управляющие программы в цикловых СПУ обычно строятся по схеме матрицы с заданием программы в виде наборов переключателей, штепсельных коммутаторов, командоаппаратов с переставными кулачками и с помощью программируемых контроллеров, представляющих собой электронные вычислительные устройства, реализующие логические функции релейных схем.

Управляющие программы в сложных цикловых СПУ задаются также в цифровом виде (ЧПУ) и памяти ЭВМ. Однако такие программы содержат только информацию о цикле и технологических режимах, а перемещение задается установкой упоров, воздействующих на путевые переключатели.

В цикловых СПУ используются электроприводы постоянного, а чаще переменного тока.

Цикловые СПУ с жесткой неизменяемой программой выполняются с релейно-контакторными и бесконтактными аппаратами. В свое время широкое распространение получили релейно-контакторные схемы, используемые до настоящего времени. Для примера на рисунке 11.1 приведена простейшая цикловая СПУ двух ИОРМ, например, агрегатного станка, где *ИО1* совершает вращательное движение, а *ИО2* - поступательное. Пусть требуется осуществить следующий простой автоматически повторяющийся цикл: поворот *ИО1* из положения *а* в положение *б*; перемещение *ИО2* из положения *в* в положение *г*; перемещение *ИО2* в исходное положение *в,* перемещение *ИО1* в исходное положение *а*.

Управление перемещениями *ИО1* и *ИО2* осуществляется с контролем положений *а – г*, обеспечиваемыми конечными выключателями *SQ1 – SQ4*. В исходном положении *ИО1* и *ИО2* находятся соответственно в положениях *а* и *в*, нажаты *SQ1* и *SQ3*. После подачи напряжения на схему управления выключателем *S* включается контактор *K*, и двигатель *M1* перемещает *ИО1* в положение *б*, где он останавливается, так как нажимается выключатель *SQ2*, отключается *K1*, а включается *K3*. Включается двигатель *M2* и перемещает *И02* в положение *г*, где нажимается выключатель *SQ4*, отключается *K3* и включается *K4*. Двигатель *M2* реверсируется и перемещает *И02* в исходное

положение *в*, где выключатель *SQ3* отключает *K4* и включает *K2*. Двигатель *M2* выключается, а включается *M1*, который поворачивает *ИО1* в исходное положение *а*. Далее цикл автоматически повторяется до отключения *S*.

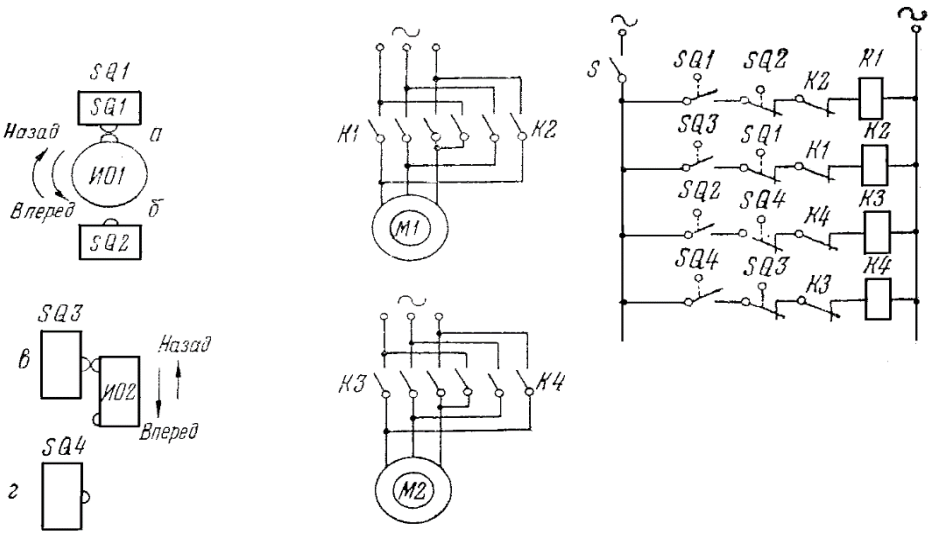


Рисунок 11.1 - Упрощенная принципиальная схема цикловой системы программного управления с релейно-контакторным управлением

Такие контактные цикловые СПУ имеют невысокую точность работы, большие габариты, а главное, малую надежность и малую долговечность из-за механических конструкций реле, которые часто ломаются, особенно в больших схемах, работающих с большим числом контактосрабатываний.

Более надежны цикловые СПУ, схемы которых собраны на бесконтактных логических элементах с применением микросхем. Однако создание схем цикловых СПУ на контактных аппаратах и бесконтактных логических элементах с жесткой неизменяемой программой требует большой затраты труда их установке, монтажу и наладке.

Для осуществления больших схем цикловых СПУ используются программируемые контроллеры (программируемые командоаппараты) – *ПК*, представляющие собой специализированную управляющую мини-ЭВМ с устройствами входа и выхода, которые осуществляют логические функции любой схемы управления, записанные в виде введенной в память ЭВМ программы. *ПК* подключается к объекту управления каналами связи и работает с ним в непосредственном взаимодействии в реальном масштабе времени. Такая СПУ (рисунок 11.2) включает в себя программируемый контроллер *ПК*, входные и выходные устройства *ВУ*, устройства силовой автоматики *УСА* и источники питания *ИП*. *ПК* содержит центральное процессорное устройство *ЦПУ* (УВМ), обеспечивающее хранение и реализацию управляющей программы, и устройства сопряжения с входами

$УС_{вх}$ и выходами $УС_{вых}$, осуществляющие согласование параметров электрических внешних и внутренних цепей СПУ, и автономный источник питания *АИП*. Входными устройствами являются командные органы *КО* и датчики индикации состояния объекта управления *Д*, выходными – исполнительные элементы управления *ИЭУ* и сигнализации *ИЭС* и электрические двигатели *ЭД*.

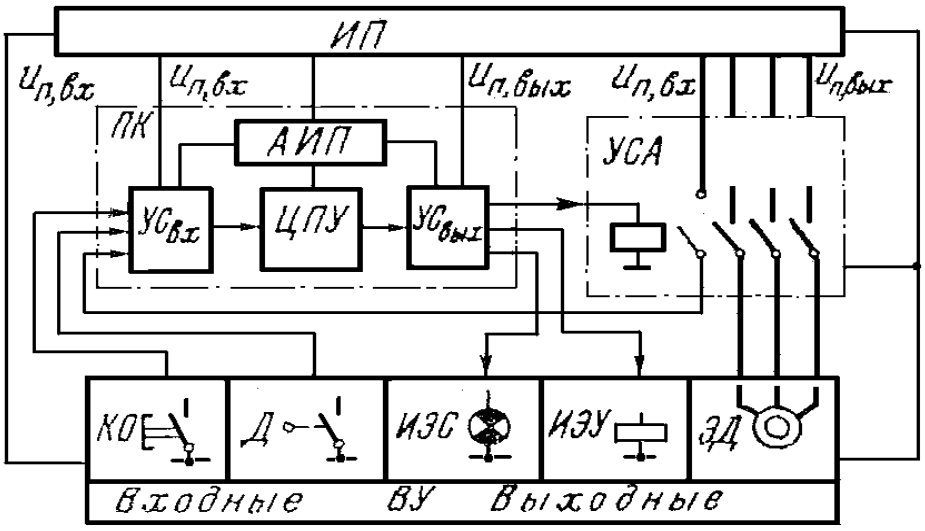


Рисунок 11.2 - Функциональная схема цикловой системы программного управления с программируемым контроллером

Такие *ПК* надежны, имеют малую трудоемкость введения и отладки программы и позволяют осуществлять индикацию работы схемы с помощью световой сигнализации и дисплея и проводить диагностику их работы. Два источника питания в *ПК* (*ИП* и *АИП*) обеспечивают энергозависимую и энергонезависимую памяти. При этом первая не сохраняет (обнуляет) свои данные при отключении внешних источников энергии, являясь как бы нулевой защитой *ПК*, а вторая сохраняет свои данные при отключении энергии, сохраняя тем самым алгоритм работы процессора, содержание команд, необходимых для реализации рабочей программы.

Структура *ПК* организуется по блочно-модульному принципу, что позволяет подобрать конкретный комплект модулей в соответствии с характеристиками автоматизированного объекта. При этом можно реализовать как простые схемы управления циклами, так и сложные системы комплексного управления оборудованием с решением задач технической диагностики, неисправностей и т. д.

Принцип действия *ПК* объясняется его функциональной схемой (рисунок 11.3). Вначале *ПК* работает в режиме записи программы, которая набирается на программной панели (загрузчике программы) и записывается (загружается) в постоянное запоминающее устройство (*ПЗУ*). Далее *ПК*

переключается в режим работы, в котором сканер (генератор тактовых импульсов) последовательно опрашивает *ПЗУ* и входные, и выходные регистры устройств сопряжения с входами и выходами, и согласно адресу программы (операнда), выбираются соответствующие ячейки регистров ввода и вывода и подключаются к процессору. Процессор в соответствии с командами (шагами) программы, поступающих из *ПЗУ*, совершает логические операции над сигналами входов и выходов и преобразует состояние входов в состояние выходов. Если состояние входов не изменилось по сравнению с предыдущим циклом опроса, то процессор подтверждает текущее состояние выходов; если изменилось, то процессор изменяет состояние выходов, согласно программе, записанной в *ПЗУ*. Опрос участков программы производится циклично, один за другим, в порядке размещения их в программе с возвращением к началу программы после окончания полного цикла опроса.

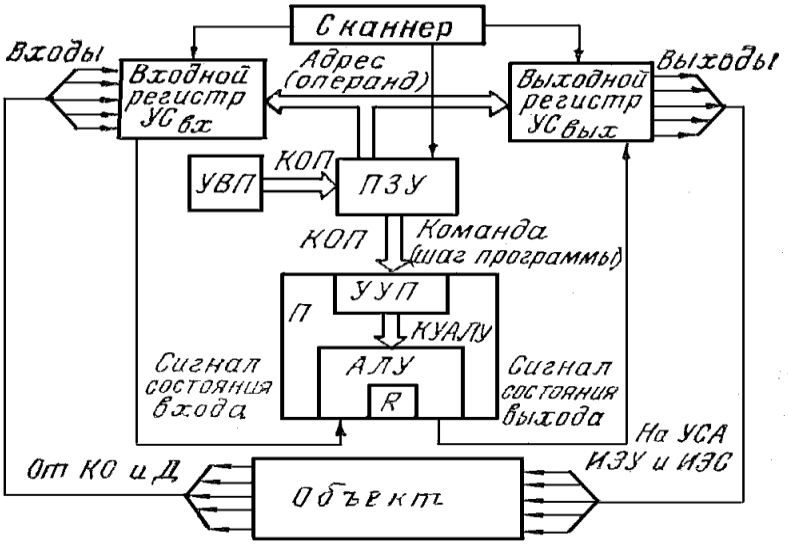


Рисунок 11.3 - Функциональная схема программируемого контроллера

Центральной частью *ПК* является процессор *П*, структура которого определяет параметры *ПК*: быстродействие, систему команд, число входов и выходов, количество таймеров и счетчиков, объем памяти для хранения программы. Процессором выполняются операции считывания и обработки команд, запроса операндов из памяти, передачи управляющих команд на выходные устройства. Процессор состоит из арифметическо-логического устройства *АЛУ*, которое осуществляет логические операции программы; устройства управления процессора *УУП*, обеспечивающего преобразование кода программы в код управления *АЛУ*; регистра памяти результата вычисления *R;* счетчиков адресов шагов программы (САШП) и адресов запоминающего устройства *САЗУ*, считывающих соответственно шаги

программы и операнды (адреса входа); шин адреса для передачи адреса шагов программы и шин данных для передачи операндов.

Связь процессора с модулями «входа – выхода» реализуется через модули процессора, называемые адаптерами, с их помощью осуществляются передача текущего значения входного сигнала в *ПЗУ* и выдача управляющих воздействий на выходные модули, адрес которых задан операндом. Если управление в модулях выхода выполняется не дискретными исполнительными сигналами, а аналоговыми, то используются устройства *ЦАП* и *АЦП*.

Рабочий цикл *ПК* разделяется на три этапа. На первом этапе, называемом сканированием входных сигналов, происходит загрузка в *ПЗУ* опрашиваемых входных модулей. На втором этапе обеспечивается обработка программы, а на третьем, заключительном, - передача управляющих сигналов выходные модули. Возможно совмещение во времени этих этапов. Время цикла определяется длиной программы. Окончание программы и переход к другому циклу в *ПК* осуществляются двумя способами: командой конца программы и обработкой всего объема *ПЗУ*.

Список литературы

1 Кисаримов Р.А. Электропривод. Справочник. – М.: «Академия», 2009. – 458 с.

2 Водовозов А.М. Элементы систем автоматики. - М.: 2008. – 509 с.

3 Малафеев С.И. Основы автоматики и системы автоматического управления. - М.: «Академия», 2010. – 560 с.

4 Цыба Ю.А., Сагитов П.И. «Элементы теории автоматического управления»: Учебное пособие для ВУЗов. – Алматы: КАУ, 2006. – 144 с.

5 Ерофеев А.А. Теория автоматического управления. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2005. – 302 с.

6 Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб.: КОРОНА принт, 2007. – 320 с.

7 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 2010. - 416 с.

8 Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода.- СПб.: Энергоатомиздат. Санкт – Петербургское отд. 2006. - 496 с.

9 Цыба Ю.А. Автоматическое управление электромеханическими системами. Учебное пособие для ВУЗов. – Алматы: АИЭС, 2008. – 77 с.

Сводный план 2016г., поз 195

Шадхин Юрий Исаевич
Тойгожинова Жанар Жумакановна

ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Конспект лекции
для студентов специальности 5В071800

Редактор Л.Т. Сластихина
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать_____ Формат 60х84 1/16
Тираж 50 экз. Бумага типографическая №1
Объем 3,94 уч. – изд. л. Заказ _____Цена 1970 тг.

Копировательно – множительное бюро
Некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынова, 126

64