

Комплектные привода постоянного тока

Комплектные ЭП постоянного тока бывают транзисторными и тиристорными.

Тиристорные комплектные привода постоянного тока

Наиболее распространенный ЭТУ (на основе БТУ), ЭПУ1(или 2), ЭТЗ (илиб).

ЭТУ – Э – электропривод, Т - тиристорный, У - унифицированный.

ЭПУ – Э – электропривод, П - постоянного тока, У - унифицированный трехфазный.

ЭПУ (ЭТУ).....(П, Д или Е, М) – последние буквы означают:

П – для электропривода подачи с высокомоментным двигателем, перегрузки по моменту до $\lambda_m = 6$, при диапазоне 1:10000

Д – электропривод главного двигателя, перегрузки по току до λ_i до 2, при уменьшается при диапазоне 1:1000, возрастает при диапазоне 5:1

Е – с обратной связью по ЭДС или по напряжению, привод однозонный диапазон 1:20.

М – с обратной связью по скорости, регулирование однозонное, диапазон 1:1000

$U_{ном} = 230, 460 В$ Ток $I_{ном}$ до 630 А.

ЭТЗ – электропривод комплектный тиристорный нереверсивный мощностью 1,1...2,2 кВт для привода главного движения.

ЭТб – электропривод комплектный тиристорный нереверсивный мощностью 0,75..11,3 кВт для привода подач станков.

КТЭ – К- комплектный, Т– тиристорный, Э–электропривод. Предназначен для управления двигателями постоянного тока мощностью до 1МВт; содержит обратные связи по напряжения (ЭДС), току якоря и току возбуждения, скорости и положения вала. Многодвигательный преобразователь КТЭ допускает подключение от 3 до 20 двигателей. $U_{ном} = 220, 440, 600 В$ Ток $I_{ном}$ от 25 до 1600 А.

Выпускают КТЭ нескольких поколений. 2-го поколения с аналоговой системой управления. 3-го поколения с аналоговой системой управления на основе программируемых микропроцессорных средств. 4-го поколения на базе изделий 3-го поколения (КТЭ) с полной заменой систем управления. Применена элементная база ведущих мировых производителей - Intel, Burr Brown, Motorola, Texas Instruments.

ТПП1 – Тиристорные преобразователи постоянного тока предназначены для питания якорных цепей двигателе постоянного тока. $U_{ном}$ от 460 до 1050 В. Ток $I_{ном}$ от 1600 до 12500 А. $U_{сном}=6, 10$ кВ. (г. Запорожье)

ТПЗ, ТПРЗ – тиристорные преобразователи 3-го класса перегрузки. ТП – нереверсивный, ТПР – реверсивный. В остальном по параметрам аналогичны преобразователям серии ТПП1. Выпускаются в г. Харькове.

Зарубежные комплектные привода постоянного тока:

серия «Mesomatic»

Диапазон моментов 10–125 Н·М, токов 25–100 А. Предназначен для работы с высокомоментным двигателем постоянного тока. Выполнен по

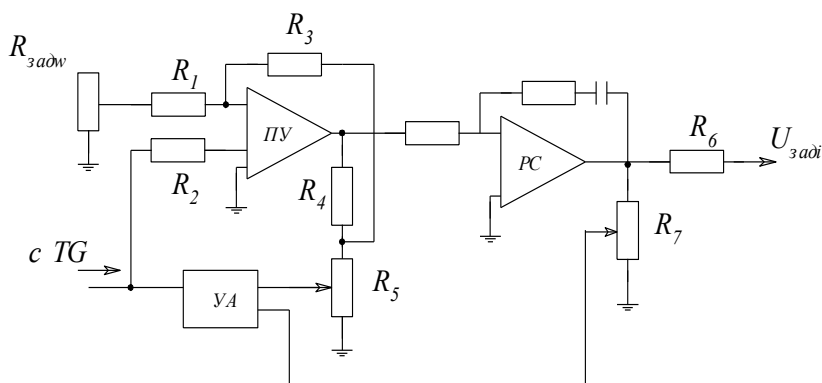
ЛУ – логическое устройство, дающее сигнал на переключение СИФУ с ТП_{яВ} на ТП_{яН} и наоборот; позволяет переключать преобразователи при наличии бестоковой паузы;

ДПТ – датчик проводимости тиристоров контролируют наличие бестоковой паузы; принцип действия основан на изменении напряжения на тиристорах. В открытом состоянии $\Delta U_{VS} = 1,5 \text{ В}$; в закрытом- $\Delta U_{VS} = U_{2\phi}$.

Электропривод имеет два канала регулирования:

1. $U_{я} = \text{vario}$, канал имеет внутренний контур тока и наружный контур скорости.
2. Канал управления по потоку $U_{оод}(\Phi) = \text{vario}$, канал имеет внутренний контур тока возбуждения и наружный контур ЭДС, то есть по зависимому принципу $\Phi = f(\text{ЭДС})$

Адаптивный регулятор скорости (АРС)



ПУ – промежуточный усилитель;
 ПИ – регулятор скорости РС;
 УА – транзисторный выходной ключ усилителя.

Входной сигнал может поступать либо от задающего резистора, либо от устройства ЧПУ.

ПУ обеспечивает ступенчатое изменение коэффициента усиления, при работе во второй зоне (т.е. при $\phi = \text{vario}$). Тем самым имеется адаптация к увеличению T_m при уменьшении потока ϕ :

$$T_m = \frac{J \cdot R_{я}}{(k \cdot \phi)^2} \quad \text{если } \phi \downarrow, \text{ то } T_m \uparrow$$

Чтобы этого не происходило необходимо регулировать $K_{АРС}$.

$$K_{АРС} = K_{ПУ} \cdot K_{РС} \quad \text{или}$$

$$K_{АРС} \equiv T_m \equiv \frac{1}{(k\phi)^2} \equiv \left(\frac{\phi_{ном}}{\phi} \right)^2 \equiv \left(\frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^2$$

$$K_{ПУ} = (R_5 + R_4) \cdot R_3 / (R_5 \cdot R_2)$$

При возрастании U_{oc} (при уменьшении ϕ) снижается U_{YA} , а значит снижается R_5 и увеличивается $K_{ПУ}$, тогда увеличивается $K_{АРС}$, так как

$$\text{При } \uparrow U_{oc} \rightarrow U_{YA} \downarrow \rightarrow K_{ПУ} \uparrow \rightarrow K_{АРС} \uparrow$$

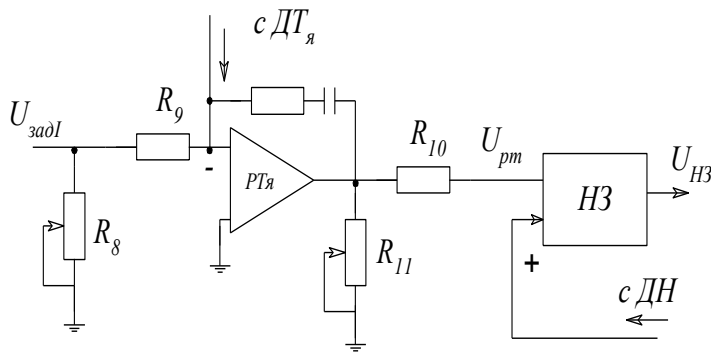
Назначение R_7 – регулировать задание по току $U_{зadi}$ во второй зоне.

В первой зоне при $U_{я} = \text{vario}$, $U_{зadi} = \text{max}$.

Во второй зоне при $\phi = \text{vario}$, $U_{зadi}$ снижается, так как снижается $M_{дон}$

$$M_{дон} = k\Phi \cdot I_{дон}$$

Адаптивный регулятор тока якоря



Регулятор тока якоря является адаптивным, поскольку он выравнивает $K_{АРТя} = K_{Ртя} \cdot K_{НЗ}$

$НЗ$ – нелинейное звено, имеет повышенный коэффициент усиления в зоне прерывистых токов.

Напряжение на тиристорном преобразователе: $E_{ТП} = E_{\delta} + I_{я} \cdot R_{я}$

или $U_{унр} = K_{НЗ} \cdot U_{Ртя} + K_e \cdot E_{\delta}$, где

K_e – коэффициент связи по ЭДС.

$K_{НЗ} \cdot U_{Ртя}$ – составляющая пропорциональная току якоря;

$K_e \cdot E_{\delta}$ – составляющая пропорциональная ЭДС.

В режиме холостого хода $E_{\delta} = E_{\delta в}$ и $U_{Ртя} = 0$

С ростом $I_{я}$ возрастает $U_{Ртя}$ и E_{δ}

Тем самым достигается упреждающее токоограничение. Основное токоограничение достигается путем ограничения сигнала $U_{зад1}$ при помощи R_8 на выходе АРС.

Положительная обратная связь по ЭДС работает:

1) в режиме холостого хода $E_{ТП} = E_{\delta}$;

2) компенсирует действие ЭДС двигателя, что значительно упрощает структурную схему.

Ослабление потока начинается когда $U_{ос}$ по ЭДС равно $U_{зад}$ по ЭДС. До этого Π – регулятор находится в насыщенном состоянии.

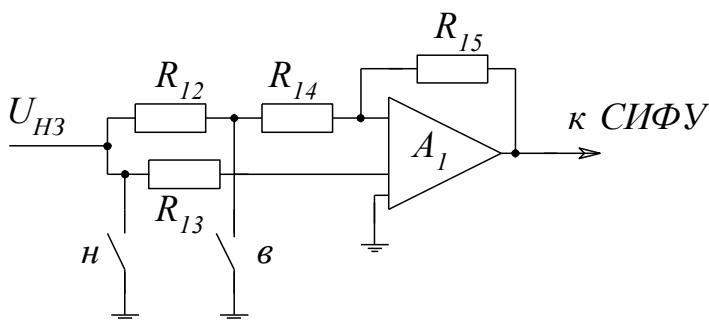
$R_{задТВ}$ выдает задание $\equiv U_{задТВ} \equiv I_{возб.ном}$

При снижении $U_{я}$, $\Phi = \Phi_{ном}$

При увеличении E_{δ} снижается $U_{выхРЭ}$, $U_{выхРТВ}$ и $I_{в}$, а значит возрастает скорость.

Переключатель характеристик

го

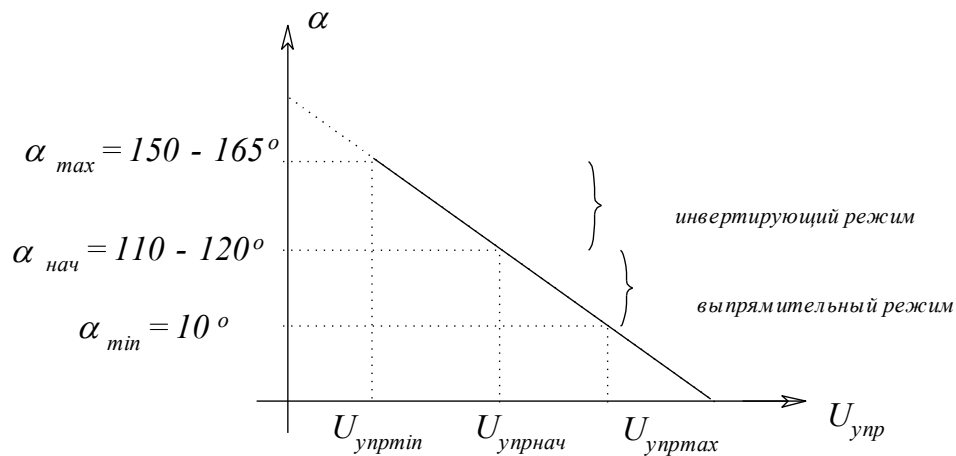


R_{12}, R_{14} – входные сопротивления инвертирующего входа;

R_{13} – входные сопротивления неинвертирующего входа

Коэффициент усиления ПХ равен 1, а полярность не зависит от полярности $U_{НЗ}$.

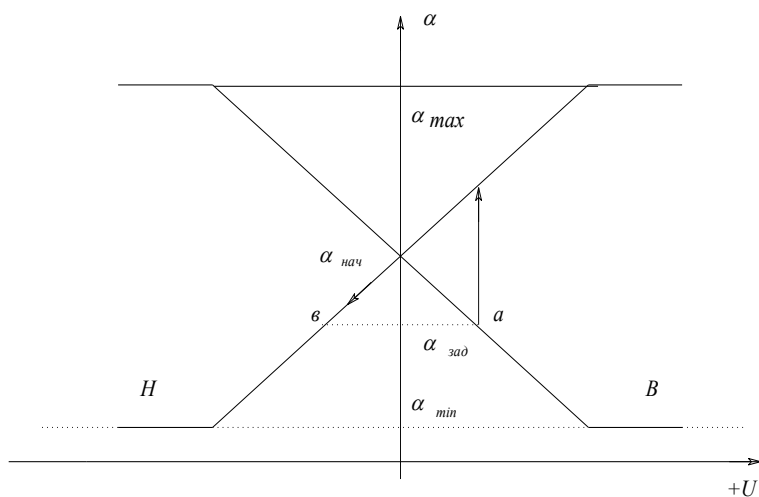
Регулировочная характеристика ТП



Работа переключателя характеристик

Если электропривод работает в точке a , то для реверса в $ТПя$ сначала $\alpha > \alpha_{нач}$, то есть инверторный режим, затем α снижается до $\alpha_{зад}$.

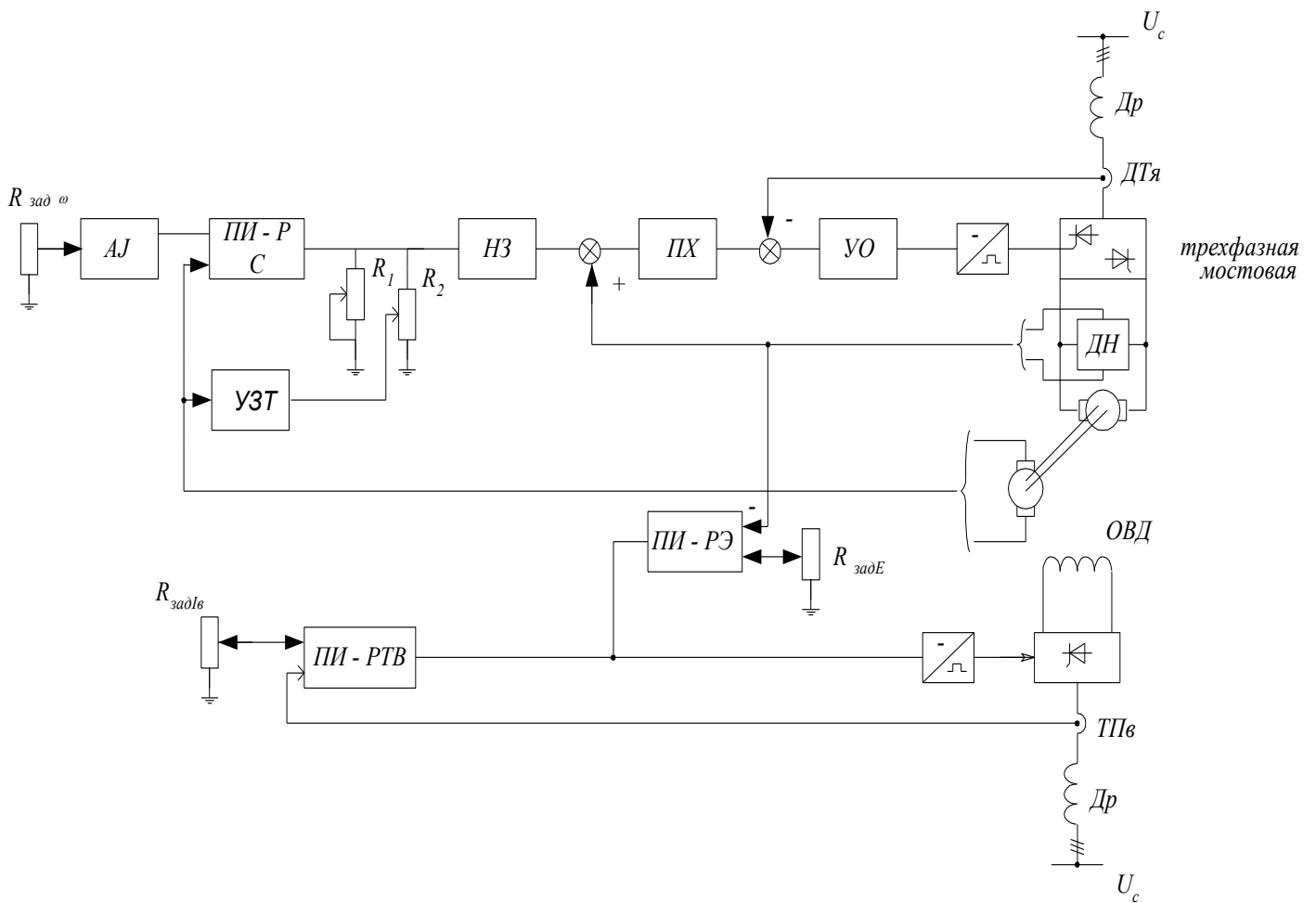
Переключение производится с группы В на группу Н с выдержкой времени для восстановления запирающих свойств тиристоров запираемой группы.



Электропривод имеет следующие виды защит: максимально токовую, от перегрева двигателя, от снижения напряжения сети и от пропадания фазы питающей сети.

Все виды защит воздействуют на триггер, который при срабатывании переводит $ТПя$ в инверторный режим.

Электропривод постоянного тока ЭПУ...Д

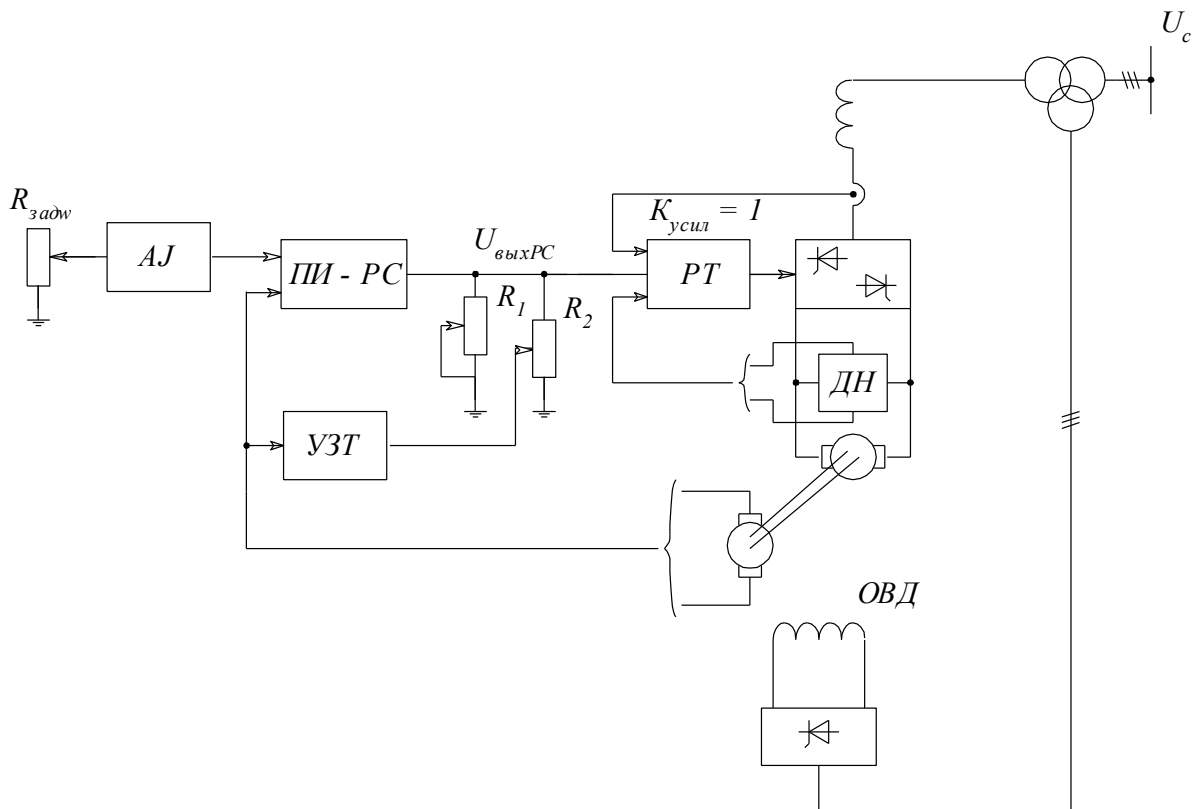


Система управления двухканальная:

1. Канал регулирования на якоре ($U_{я} = \text{vario}$) содержит внутренний контур тока и наружный контур скорости. Регулятор скорости не имеет предварительного каскада усиления, но имеет задатчик интенсивности. Ограничение $U_{\text{вых}PC}$ при $U_{я} = \text{vario}$ осуществляется резистором R_1 . Ограничение $U_{\text{вых}PC}$ при $\Phi = \text{vario}$ осуществляется резистором R_2 . Входом на R_2 является УЗТ (устройство зависимого от скорости токоограничения). В контуре $I_{я}$ имеется жесткая обратная связь по току. Коэффициент изменяется наоборот сопротивлению на выходе с ДТя. Сигналы обратной связи поступают на вход управляемого органа. Коэффициент усиления управляемого органа равен 1. Обратная связь по $U_{я}$ на входе контура тока сложной для выравнивания $K_{ТП}$ в области прерывистых токов.

2. Канал $U_{\text{овд}} = \text{vario}$ содержит внутренний контур ЭДС и внешний контур тока возбуждения. При этом по сравнению с ЭТУ изменена последовательность включения регуляторов в цепи возбуждения.

В приводе ЭПУ... П регулирование однозонное вниз от основной.



$T\Pi_{\text{я}}$ выполнен по трехфазной мостовой схеме с отдельным управлением. Обмотка возбуждения питается от трехфазного неуправляемого мостового выпрямителя, который подключается к третьей обмотке силового трансформатора.

Транзисторные привода постоянного тока

Применение транзисторных преобразователей для управления двигателями постоянного тока имеет следующие преимущества

1. высокий коэффициент использования двигателя по току без применения дополнительных элементов в силовой цепи;
2. простая в наладке и надежная в эксплуатации система управления;
3. отсутствие требований к фазировке питающей сети;
4. малые габариты и вес.

ЭШИМ – электропривод построенный на принципе широтно-импульсной модуляции; многокоординатный; диапазон регулирования 1:10000. Максимальное значение тока 40 А.

ЭШИР – электропривод выполнен на основе широтно-импульсного преобразователя; однокоординатный, диапазон регулирования 1:30000. Максимальное значение тока 16 А.

ПНТ– ЭП постоянного тока, нереверсивный, транзисторный. Предназначен для замены ЭПУ2. Выполняется с ООС по скорости (исполнение С) и по ЭДС (исполнение Е). Диапазон регулирования частоты вращения двигателя до 1:2000 для исполнения М и до 1:20 для исполнения Е. $U_{ном} = 220, 380 \text{ В}$; $I_{ном}$ до 20 А.

Транзисторный привод постоянного тока типа ЭШИМ 1

Выполнен на основе транзисторного преобразователя с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) и предназначены для приводов подачи.

ЭП работает с двигателями типа ДП, ДПУ, 2ПБВ.

ДП – двигатель постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, $U_{я} = 6 \dots 48 \text{ В}$, $P_{ном} = 0,6 \dots 90 \text{ Вт}$, $n_{ном} = 4000 \dots 10000 \text{ об/мин}$.

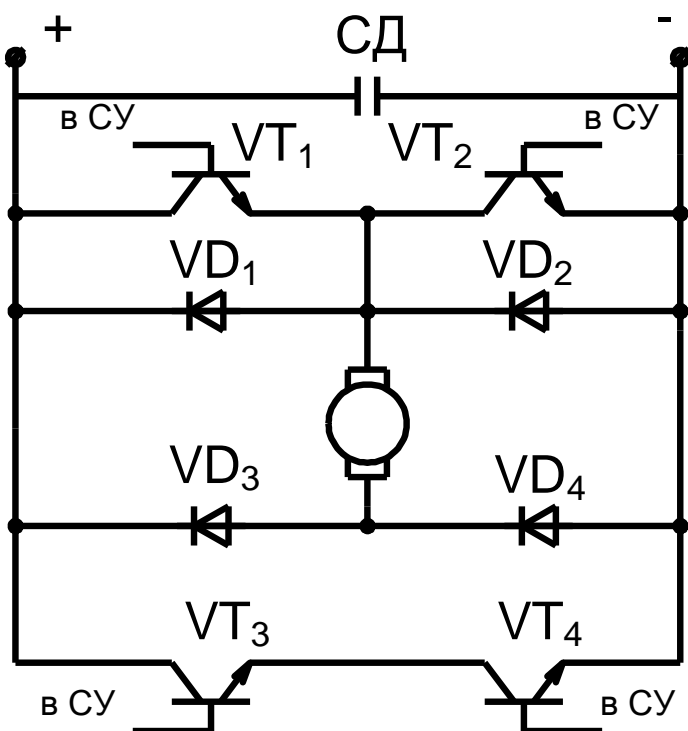
ДПУ – двигатель постоянного тока, предназначенные для металлорежущих станков с ЧПУ и промышленных роботов. Режим работы S1. $U_{я} = 36 \dots 120 \text{ В}$, $M_{ном} = 0,57 \dots 3,5 \text{ Н}\cdot\text{М}$, $n_{ном} = 3000 \text{ об/мин}$.

2ПБВ – двигатель постоянного тока; 2П – второе поколение серии; Б – исполнение закрытое, с естественным охлаждением, со степенью IP 44; В – высокомоментный, 100,112,132 – высота оси вращения вала, М, S,L – соответственно короткая, средняя и длинная, условная длина двигателя; Е – исполнение с тормозом; О – исполнение с датчиком пути. $U_{я} = 94 \dots 172 \text{ В}$ (при максимальной частоте вращения), $M_{ном} = 7,5 \dots 37 \text{ Н}\cdot\text{М}$, $n_{макс} = 2000 \dots 2500 \text{ об/мин}$.

ЭП имеет двухконтурную систему регулирования с аналоговым регулятором скорости, релейным (дискретным) регулятором тока якоря.

$Dз = 1:10\ 000$.

Упрощенная схема силовой части



В зависимости от состояния транзисторов $VT_1 \dots VT_4$ возможны 3 режима работы преобразователя.

Возможные режимы работы:

1. Открыты два транзистора в противоположных плечах моста VT_1 и VT_4 или VT_3 и VT_2 .

2. Открыт только один транзистор VT_1 или VT_3 .

3. Все транзисторы закрыты.

Для протекания тока в двух последних режимах предусмотрен мост обратных диодов. В трех режимах возможны как двигательные, так и тормозные режимы работы ЭП.

В первом режиме уравнение тока имеет вид: $\pm U_n = e + I_{я} \cdot R + L_{я} \cdot \frac{di}{dt}$

«+» – соответствует двигательному режиму при работе VT_3 и VT_2 .

«-» – соответствует тормозному режиму (противовключение) при работе VT_1 и VT_4 .

Решим уравнение относительно $\frac{di}{dt}$.

Для двигательного режима: $U_n = e + I_{я} \cdot R + L_{я} \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow L_{я} \cdot \frac{di}{dt} = U_n - e - I_{я} \cdot R$.

Для тормозного режима $-U_n = e + I_{я} \cdot R + L_{я} \cdot \frac{di}{dt} \Rightarrow L_{я} \cdot \frac{di}{dt} = -(U_n + e - I_{я} \cdot R)$.

Так как $U_n > e + I_{я} \cdot R$, то в двигательном режиме $\frac{di}{dt} > 0$, а в тормозном $\frac{di}{dt} < 0$.

Для второго режима уравнение Кирхгофа имеет вид: $0 = e \pm I_{я} \cdot R + L_{я} \cdot \frac{di}{dt}$

«+» – соответствует открытому VT_3 – двигательный режим

«-» – соответствует открытому VT_1 – генераторный режим, динамическое торможение.

Производная в двигательном режиме: $L_{я} \cdot \frac{di}{dt} = -(e + I_{я} \cdot R) \Rightarrow \frac{di}{dt} < 0$.

В генераторном режиме при больших скоростях $e > I_{я} \cdot R_{я}$:

$$L_{я} \cdot \frac{di}{dt} = -(e - I_{я} \cdot R) \Rightarrow \frac{di}{dt} < 0.$$

При малых скоростях $e < I_{я} \cdot R_{я}$: $L_{я} \cdot \frac{di}{dt} = -(e - I_{я} \cdot R) \Rightarrow \frac{di}{dt} > 0$.

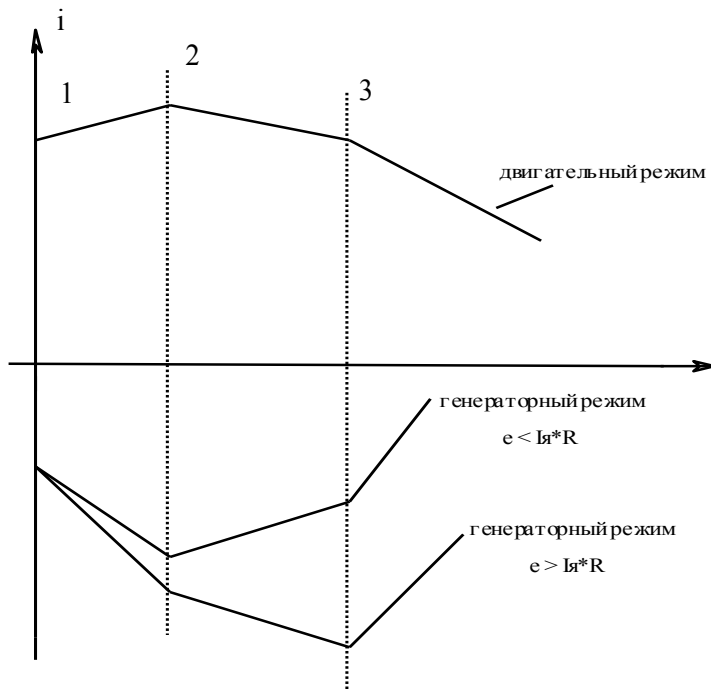
Для третьего режима уравнение Кирхгофа: $0 = e \pm I_{я} \cdot R + L_{я} \cdot \frac{di}{dt} \pm U_n$.

«+» – соответствует двигательному режиму $L_{я} \frac{di}{dt} < 0$;

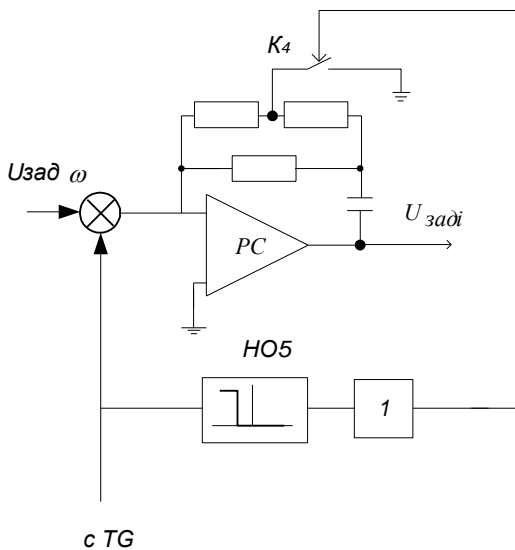
«-» – соответствует генераторному режиму $L_{я} \frac{di}{dt} > 0$.

$I = f(t)$ при работе $\omega > 0$, то есть в первом и во втором квадранте.

График изменения тока



Регулятор скорости

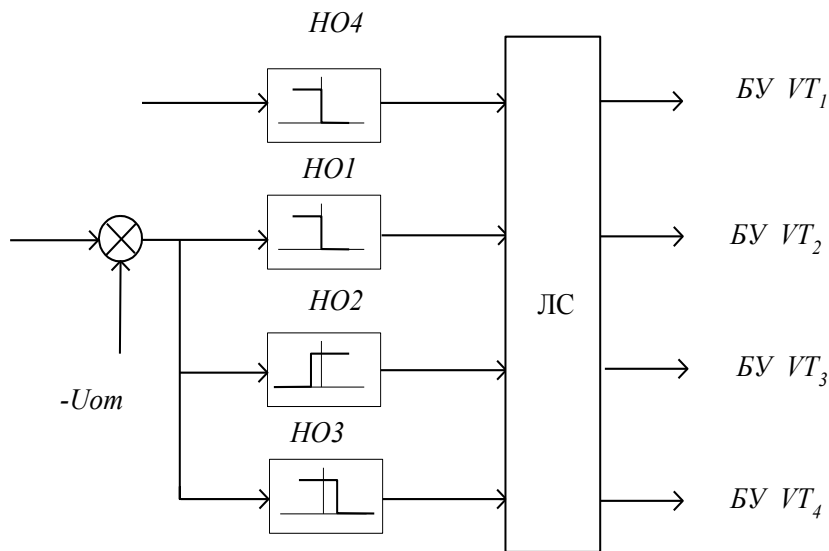


В данном регуляторе предусмотрено изменение его настройки в зависимости от скорости с помощью нуля-органа HO_5 и ключа K_4 .

При скорости $\omega > 0,25 \cdot \omega_{макс}$ ключ K_4 размыкается, что приводит к увеличению постоянной интегрирования и уменьшению $K_{усил}$ примерно в 3 раза. Необходимость этого обусловлена наличием пульсации в напряжении тахогенератора. Амплитуда пульсаций возрастает при повышении скорости.

Контур регулирования тока якоря

Регулятор тока якоря является релейным выполнен на четырех нуля-органах $HO_1 \dots HO_4$ и логической схеме (ЛС). Регулятор предназначен для отработки заданного значения тока $I_{я}$ в релейном режиме. Для обеспечения условия $I_{я} = I_{зад} = const$ необходимо чередовать в двигательном и тормозном (при малых значениях скорости) режимах чередовать режимы 1 и 2; в тормозном режиме при больших значениях скорости необходимо чередовать 2 и 3 режимы.



HO_1 – нуль-орган определяет знак ошибки Δi (контролирует её нулевой порог $\Delta I=0$);

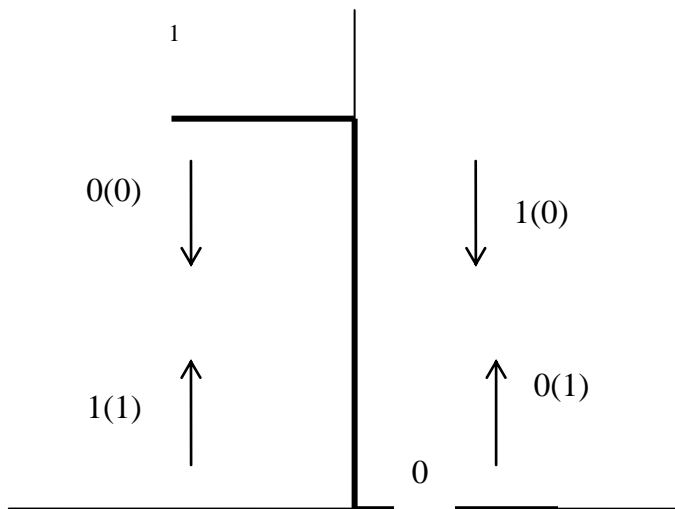
HO_2 – контролирует отрицательный порог ошибки $-\Delta I_{max}$;

HO_3 – контролирует положительный порог ошибки $+\Delta I_{min}$;

HO_4 – задает направление тока.

После логической обработки в блоке ЛС сигналы поступают на БУ $TV_1 \dots TV_4$.

Нуль-органы $HO_1 \dots HO_4$ могут находиться в состоянии «0» или «1». $TV_1 \dots TV_4$ могут быть включены «+» или выключены «-».



0(1) нуль-орган находится в состоянии «0» и рабочая точка на его релейной характеристике перемещается в направлении к состоянию «1»;

0(0) нуль-орган находится в состоянии «0» и рабочая точка на его релейной характеристике перемещается от состояния «1»;

1(0) нуль-орган находится в состоянии «1» и рабочая точка на его релейной характеристике перемещается в направлении к состоянию «0»;

1(1) нуль-орган находится в состоянии «1» и рабочая точка на его релейной характеристике перемещается от состояния «0».

1(1) нуль-орган находится в состоянии «1» и рабочая точка на его релейной характеристике перемещается от состояния «0».

$I_{зад}$	ΔI	HO_1	HO_2	HO_3	HO_4	TV_1	TV_2	TV_3	TV_4	режим
+	+	0(1)	1	1(1)	0	-	+	+	-	1
		0(0)		1(0)		-	-	+	-	2
	-	1(1)	1(0)	1	0	-	-	+	-	2
		1(0)	1(1)			-	-	-	-	3