

КОМПЛЕКТНЫЙ ТИРИСТОРНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С СОВМЕСТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

(2 часа)

I. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение особенностей комплектного тиристорного электропривода с совместным управлением, исследование его статических характеристик и получение практических навыков по выбору тиристорных электроприводов для различных механизмов.

II. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Тиристорный электропривод находит широкое применение в металлургии, так как имеет ряд преимуществ по сравнению с системой Г-Д:

- большой к.п.д.;
- высокое быстродействие;
- высокая надежность;
- небольшие эксплуатационные затраты;
- большой коэффициент усиления по мощности.

Тиристорный электропривод применяется в приводе прокатных станов, конвертеров, трубопрокатных станов и т.д.

Основным элементом тиристорного электропривода является тиристорный преобразователь (ТП). Он предназначен для преобразования переменного напряжения в постоянное и регулирования среднего значения выпрямленного напряжения.

ТП можно разделить на два основных устройства, силовая

часть и система импульсно-фазового управления (СИФУ). Силовая часть состоит из трансформатора и схемы выпрямления, выполненной на тиристорах. В приводах малой мощности применяются однофазные мостовые и трехфазные схемы выпрямления с нулевым выводом, в мощных приводах — трехфазные мостовые схемы выпрямления.

СИФУ формирует управляющий импульс, подаваемый на тиристор, и изменяет угол регулирования (фазу) в зависимости от величины управляющего напряжения U_y . В тиристорных преобразователях используются практически безинерционные СИФУ с "вертикальным" управлением фазой управляющего импульса. Такие системы обычно бывают многоканальными, т.е. в них импульсы формируются и сдвигаются по фазе в отдельном канале для каждого тиристора. Входное управляющее напряжение является общим для всех каналов СИФУ.

При регулировании фазы управляющего импульса изменяется среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_d = E_{d_0} \cdot \cos \alpha - \Delta U - R_z \cdot I, \quad (7.1)$$

где E_{d_0} — э.д.с. холостого хода ТП;
 ΔU — падение напряжения в тиристорах;
 R_z — эквивалентное сопротивление ТП.

Выпрямленное напряжение подключено к якорю двигателя, при изменении величины этого напряжения происходит регулирование скорости двигателя от нуля до номинального значения.

Уравнение механической характеристики двигателя в системе ТП-Д

$$n = \frac{E_{d_0} \cdot \cos \alpha}{K_e \cdot \Phi} - \frac{R_a + R_z + X_{тр} \cdot \frac{m}{2\pi}}{K_e \cdot \Phi} \cdot I, \quad (7.2)$$

где

n - частота вращения;

K_e - константа двигателя;

Φ - магнитный поток двигателя;

$R_{я}$ - сопротивление якорной цепи;

m - число фаз;

I - ток якоря двигателя;

$X_{тр}$ - индуктивное сопротивление трансформатора.

Эквивалентное сопротивление имеет значительную величину, поэтому жесткость механических характеристик привода в системе ТП-Д будет меньше, чем естественной характеристики двигателя. Для увеличения жесткости механических характеристик в тиристорном электроприводе вводится отрицательная обратная связь по скорости.

Компактный тиристорный электропривод представляет собой систему автоматического управления (САУ) с обратной связью по скорости. Структурная схема автоматизированного электропривода представлена на рис. 7.1. Электродвигатель M в схеме представлен в виде двух звеньев: одно звено с электромагнитной постоянной времени $T_{я}$ и коэффициентом передачи $K_{я}$ и второе звено с электромеханической постоянной времени $T_{м}$ и коэффициентом передачи $K_{м}$. Напряжение питания $U_{д}$ поступает на двигатель с тиристорного преобразователя ТП. Управляющее напряжение U_y подается на ТП с усилителя U . Усилитель охвачен корректирующим интегродифференцирующим контуром с целью стабилизации системы регулирования. Для ограничения управляющего напряжения на допустимом уровне при больших изменениях задающего напряжения на входе усилителя имеется блок ограничения БО. Также на

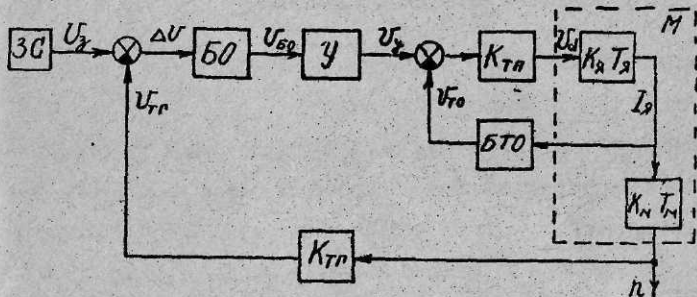


Рис. 7.1. Структурная схема электропривода ПТЗР

входе усилителя имеется элемент сравнения, где сравниваются задающее напряжение U_z и напряжение обратной связи U_{tr} . Задающее напряжение пропорционально заданной скорости двигателя и устанавливается задатчиком скорости ЭС. Напряжение обратной связи пропорционально фактическому значению скорости, которая измеряется тахогенератором постоянного тока.

Введение обратной связи по скорости позволило получить большой диапазон регулирования скорости (1:1000), жесткие механические характеристики привода и время восстановления скорости при ударном приложении нагрузки не более 0,1 с.

Блок токоограничения БТО предназначен для ограничения тока якоря при пуске и перегрузках двигателя.

Ш. ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

В лабораторной работе исследуется комплентный тиристорный электропривод ПТЗР-6/220-33/1000.^{x/}

В комплект электропривода входят: тиристорный преобразователь, электродвигатель постоянного тока серии ПБСТ с встроенным тахогенератором, силовой трехфазный трансформатор, задатчик скорости, усилитель и в реверсивном приводе два уравнительных реактора.

Силовой трансформатор серии ТТ предназначен для согласования напряжения сети с номинальным напряжением двигателя и защиты привода от коротких замыканий.

Силовая часть тиристорного преобразователя выполнена на шести тиристорах типа ТЛ-50 по двухкомплентной трехфазной схеме с нулевым выводом для реверсивных приводов.

СИФУ конструктивно состоит из трех блоков (рис. 7.2): блок пилообразного напряжения (БПН) и два блока фазового управления (БФУ) для групп тиристоров "Вперед" и "Назад". БПН служит для формирования пилообразного напряжения, постоянного по амплитуде и совпадающего по фазе с напряжением сети. Пилообразное напряжение оравнивается на входе БФУ в фазосдвигающем устройстве с напряжением управления U_y . При изменении знака разности этих напряжений на входе появляются импульсы. В за-

х) П-привод; Т-тиристорный; 3-трехфазный; Р-реверсивный, 6-номинальная мощность трансформатора, кВА, 220-номинальное напряжение двигателя, В; 33-тип двигателя, ПБСТ-33; 1000-номинальная частота вращения двигателя, об/мин.

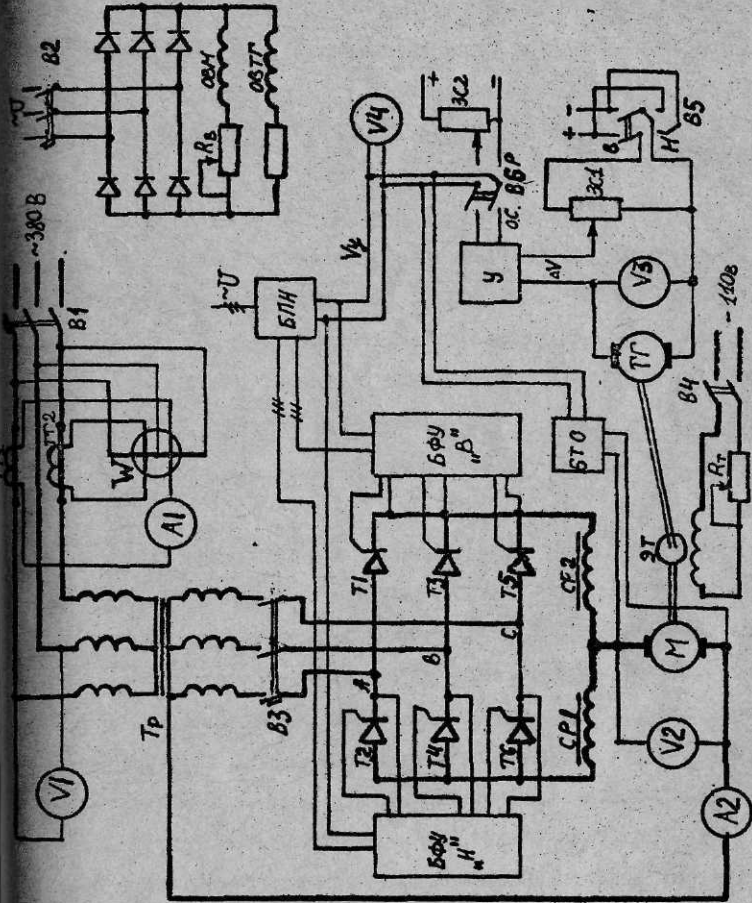


Рис. 7.2. Принципиальная схема электропривода ПТЗР

висимости от величины U_y изменяется фаза импульсов. Эти импульсы поступают в формирователь импульсов БФУ и далее на управляющие электроды тиристоров.

В каждый момент времени управляющие импульсы поступают одновременно на один из тиристоров группы "вперед" (T_1, T_3, T_5) и группы "назад" (T_2, T_4, T_6). При этом тиристоры T_1, T_3, T_5 работают в выпрямительном режиме ($\alpha < 90^\circ$), а тиристоры T_2, T_4, T_6 - в инверторном режиме ($\alpha > 90^\circ$). Таким образом реверсивный тиристорный преобразователь выполнен с совместным управлением. В любом режиме работы двигателя углы регулирования обеих групп изменяются таким образом, чтобы среднее напряжение инвертора $U_{\alpha n}$ было меньше среднего напряжения выпрямителя $U_{\alpha в}$:

$$U_{\alpha n} = U_{\alpha в} - 2 \Delta U \quad (7.3)$$

Если это равенство будет нарушено, то в замкнутом контуре, образованном двумя группами тиристоров и вторичными обмотками трансформатора, минуя цепь нагрузки, будет протекать уравнительный ток, который бесполезно загружает трансформатор и тиристоры, создает дополнительные потери мощности в них. В переходных режимах и при обобщении условия (7.3) в отдельные моменты мгновенное значение напряжения выпрямителя может быть больше, чем напряжение инвертора. Вследствии этого возникает индукционный уравнительный ток, для ограничения которого применяются уравнительные дроссели $CP1$ и $CP2$.

Исходный угол регулирования обеих групп тиристоров задается 90° , при этом выпрямленное напряжение будет равно нулю и двигатель не работает (рис. 7.3).

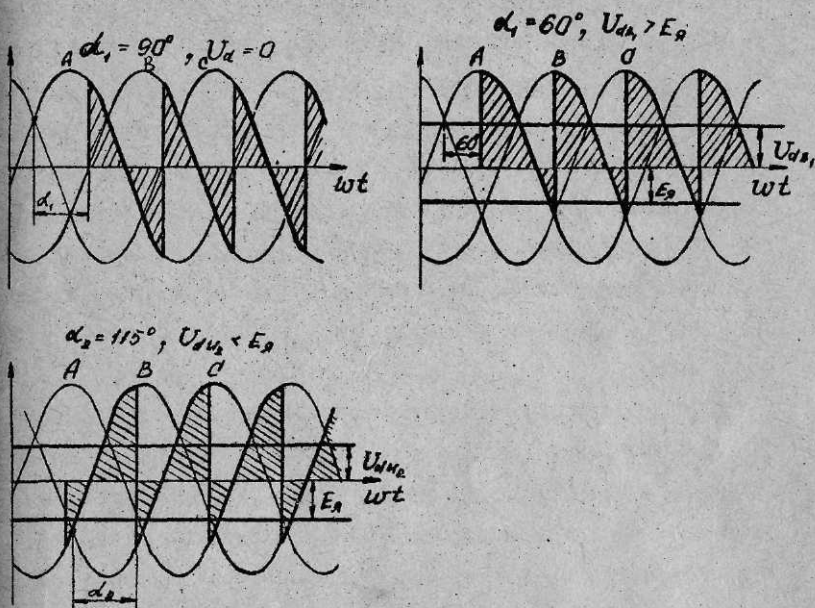


Рис. 7.3. Кривые напряжений при выпрямлении и инвертировании тока

Для включения двигателя необходимо уменьшить угол регулирования группы "вперед", например $\alpha_1 = 60^\circ$ (рис. 7.3), тиристоры этой группы будут работать в выпрямительном режиме. Угол регулирования тиристоров группы "назад" одновременно возрастает ($\alpha_2 = 115^\circ$) и они подготовлены к работе в инверторном режиме. Машина М будет работать в двигательном режиме.

Предположим, что двигатель необходимо затормозить и осуществить реверс. С этой целью угол α_1 следует увеличить до

90° ($U_{\Delta H} = 0$), $\alpha_2 = 115^\circ$.

Тиристоры Т1, Т3, Т5, закроются, а тиристоры Т2, Т4, Т6 будут открыты и проводить ток при отрицательной полуволне переменного напряжения на анодах под действием противо ЭДС двигателя E_A . В цепи якоря М - тиристоры Т2, Т4, Т6 - трансформатор" будет протекать ток. Группа тиристоров "Назад" работает инвертором, преобразуя постоянную э.д.с. двигателя в переменное напряжение в обмотках трансформатора. Машина работает в генераторном режиме. Ток в цепи якоря сменил направление, т.е. происходит рекуперативное торможение двигателя с отдачей энергии в сеть.

Для поддержания тормозного тока на достаточном уровне необходимо уменьшать угол α_2 по мере снижения частоты вращения двигателя М так, чтобы $E_A \geq U_{\Delta H 2}$. При $\alpha_2 = 90^\circ$ двигатель остановится, если и дальше уменьшать его, тиристоры второй группы перейдут в выпрямительный режим, первой группы - в инверторный режим. Изменится полярность выпрямленного напряжения на якоре и произойдет реверс двигателя.

Напряжение управления поступает в замкнутой САУ с усилителя У, а в разомкнутой - с задатчика скорости ЗС2. В замкнутой САУ на усилитель приходит разность напряжений с тахогенератора и задатчика скорости ЗС1. Таким образом, в замкнутой САУ частота вращения двигателя задается задатчиком ЗС1, а в разомкнутой - задатчиком ЗС2.

Электродвигатели серии ПБСТ постоянного тока независимо возбуждения выпускаются в закрытом исполнении. Применение электродвигателей закрытого исполнения позволяет повысить надежность работы электрооборудования и улучшить энергетические

характеристики привода. Исполнение тахогенератора на одном валу с двигателем облегчило задачу создания высокоточных систем с широким диапазоном регулирования. Двигатели серии ПЕСТ имеют меньшую в сравнении с двигателями общего применения электромеханическую постоянную времени, что позволяет полнее использовать возможности безинерционного тиристорного преобразователя при создании высокоточных малоинерционных систем регулирования.

Обмотки возбуждения двигателя ОБМ и тахогенератора ОБТГ питаются от неуправляемого преобразователя, собранного по трехфазной мостовой схеме.

IV. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

I. Дополнительные указания по технике безопасности:

- перед началом работы убедиться в том, что силовой трансформатор Tr отключен от сети;
- включение и отключение установки производить в строго определенной последовательности;
- включения электротормоза ЭТ производить при полностью введенном реостате R_T .

2. Записать в отчете технические данные электропривода и контрольно-измерительной аппаратуры.

3. Подготовить установку к работе. Задатчики скорости установить в нулевое положение, выключатель В4 отключить, включить автоматы В1, В2, В3 (последовательность включения строго соблюдать).

4. Снять внешнюю характеристику ТП, $U_d = f(U_y)$,

при работе двигателя на холостом ходу. Тумблер В5 поставить в положение "В", тумблер В6 - в положение "0.С". Задатчиком ЭС1 изменять напряжение управления U_y (задать 5 значений) от 0 до 10 В. Показания приборов записать в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Результаты наблюдений

№ п/п	Положение "В"							
	Измерено					Вычислено		
	$U_1, В$	$I_1, А$	$P_1, кВт$	$U_d, В$	$U_y, В$	$S_1, ВА$	λ	K_n
1								
2								
3								
4								
5								

По показаниям приборов вычислить коэффициент мощности и коэффициент усиления преобразователя $K_n = U_d / U_y$. Построить зависимости $U_d = f(U_y)$ и $\lambda = f_1(U_d / U_{dH})$.

5. Снять опытным путем и построить две скоростные характеристики $n = f(I)$ для разомкнутой САУ.

Тумблер В6 в положении "Р", задатчиком ЭС2 на холостом ходу двигателя установить определенное значение частоты вращения двигателя. Затем при помощи электромагнитного тормоза ЭТ дать нагрузку на двигатель, изменяя ток двигателя от минимума до номинальной величины. Данные записать в табл. 7.2.

По данным табл. 7.2 построить зависимость $n = f(I)$ и $\eta = f(I/I_H)$.

Таблица 7.2

Результаты наблюдений

№ хар.	№ п/п	Измерено				Вычислено	
		$P_1, \text{кВт}$	$U_d, \text{В}$	$I, \text{А}$	$n, \frac{\text{об}}{\text{мин}}$	$P_d, \text{Вт}$	η
I	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
II	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

6. Снять опытным путем и построить две скоростные характеристики $n = f(I)$ для замкнутой САУ. Тумблер В6 в положении "ОС", задатчиком ЗСІ на холостом ходу двигателя установить те же значения частоты вращения, что и в пункте 4. Затем электромагнитным тормозом дать нагрузку на двигатель. Данные записать в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Результаты наблюдений

№ хар.	№ п/п	$I, \text{А}$	$U_d, \text{В}$	$n, \text{об/мин}$
I	I+5			
II	I+5			

Примечание: Значения U_y и n задаются преподавателем.

7. Задатчики скорости установить в нулевое положение.

Выключить автоматы В4, В3, В2, В1, Результаты эксперимента показать преподавателю.

У. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Две основные энергетические величины характеризуют статические преобразователи: коэффициент полезного действия и коэффициент мощности. К.п.д. ТП определяется как отношение мощности выпрямленного тока P_d к мощности, потребляемой из сети P_1

$$\eta = \frac{P_d}{P_1} \quad (7.4)$$

Мощность выпрямленного тока равняется произведению выпрямленного тока на напряжение

$$P_d = U_d \cdot I \quad (7.5)$$

Мощность, потребляемая из сети, определяется по показаниям трехфазного ваттметра W .

Коэффициент мощности зависит от величины выпрямленного напряжения. При регулировании выпрямленного напряжения угол сдвига фазы между напряжением сети и первой гармоникой тока определяется углом регулирования α .

$$\lambda \approx \cos \alpha \approx \frac{U_d}{U_{dH}} \quad (7.6)$$

где U_{dH} — номинальное выпрямленное напряжение преобразователя.

В данной работе λ можно определить по формуле:

$$\lambda = \frac{P_d}{S_1} \quad (7.7)$$

где S_1 - полная мощность, потребляемая из сети, $S_1 = \sqrt{3} U_1 I_1$;
 U_1 - напряжение сети; I_1 - ток, потребляемый из сети.

Оценить точность измеренных параметров.

VI. ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ ПО РАБОТЕ

Отчет по проведенной работе должен содержать: цель работы, принципиальную схему (рис. 7.2) и описание установки, данные электропривода и машин, программу работы, графики $U_\alpha = f(U_y)$,
 $\lambda = f(U_\alpha / U_{\alpha H})$, $\eta = f(I / I_H)$, $n = f(I)$.
зависимость $n = f(I)$ для замкнутой и разомкнутой САУ построить на одном графике.

В выводах по работе дать оценку полученным результатам.

VII. ЛИТЕРАТУРА

Афанасьев В.Д. Автоматизированный электропривод в прокатном производстве. - М.: Металлургия, 1977, с.94-105.

VIII. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Какими параметрами регулируется скорость двигателя в системе ТП-Д?

Какие преимущества и недостатки имеет система ТП-Д?

Назовите способы управления тиристорными преобразователями.

В чем сущность вертикального управления фазой?

С какой целью строятся замкнутые САУ?

Почему ТП снижается при глубоком регулировании частоты вращения?

Назовите формулы для определения основных энергетических величин статического преобразователя.

Назовите порядок работы аппаратуры при определении внешней характеристики ТП.