

2.3 Работа № 2

Статические характеристики системы «Тиристорный преобразователь – двигатель»

Цель работы

Исследование регулировочных свойств, статических характеристик и энергетики установившихся режимов работы двигателя постоянного тока независимого возбуждения, питающегося от реверсивного тиристорного преобразователя, определение основных показателей регулирования координат в системе ТП – Д и в системе регулирования тока возбуждения двигателя.

В работе выполняются исследования:

- разомкнутой системы ТП – Д;
- системы ТП – Д с отрицательной обратной связью по скорости;
- системы ТП – Д с отрицательной обратной связью по тока якоря;
- системы регулирования тока возбуждения двигателя.

1 Порядок выполнения работы

1.1 Ознакомиться с электрооборудованием лабораторной установки. (см. гл.1, гл.2.1 и Приложение А).

1.2 Выполнить предварительный расчет по своему варианту (Приложение Б) параметров системы, обеспечивающих работу в заданной точке. Рассчитать основные показатели регулирования скорости в разомкнутой и замкнутой по системе ТП – Д.

1.3 Настроить систему электропривода для выполнения исследований (см. п.1.7, п. 2.1.4).

1.4 В настроенной системе электропривода при изменении напряжения задания $U_{з\text{я}}$ снять регулировочные характеристики

$$n, M, I_{\text{я}}, U_{\text{я}}, U_2, I_2, P_2 = f(U_{з\text{я}}),$$

при работе на холостом ходу и при работе с заданным моментом $M_{\text{зад}}$, а также рассчитать и построить энергетические зависимости от скорости

$$\eta_{\text{ТП-Д}}, km = f(\omega).$$

1.5 Снять статические характеристики электропривода при неизменном напряжении задания $U_{з\text{я}} = \text{const}$ при изменении момента $M_{\text{с}}$:

$$n, I_{\text{я}}, U_{\text{я}}, U_{\text{с}}, I_{\text{с}}, P_{\text{с}} = f(M_{\text{с}}),$$

проходящие через точки:

- по результатам предварительных расчетов $\omega_{\text{зад}}, M_{\text{зад}}$;
- **максимальной** скорости $\omega_{\text{макс}}, M_{\text{зад}}$;
- **минимальной** скорости $\omega_{\text{мин}}, M_{\text{зад}}$.

1.6 Снять также механическую характеристику двигателя при $U_{я} = \text{const}$ при изменении M .

1.7 Рассчитать по данным п. 1.5 и построить зависимости КПД и коэффициента мощности системы от момента на валу $\eta_{\text{ТП-д}}, km = f(M_C)$.

1.8 Настроить и снять механические характеристики в системе ТП – Д:
– с отрицательной обратной связью по скорости;
– с отрицательной обратной связью по тока якоря.

1.9 В системе регулирования тока возбуждения двигателя при неизменном токе якоря $I_{я} = I_{\text{зад}} = \text{const}$, напряжении на якоре $U_{я} = U_{\text{зад}}$ снять регулировочные характеристики:

$\omega, M, U_{я}, U_2, I_2, P_2 = f(i_B)$.

при уменьшении тока возбуждения i_B вниз от номинального.

1.10 Снять и построить механические характеристики двигателя, проходящие через точки:

- максимальной скорости $\omega_{\text{макс}}, M_{\text{зад}}$;
- минимальной скорости $\omega_{\text{мин}}, M_{\text{зад}}$.

2 Пояснения к работе

2.1 Предварительные расчеты

2.1.1 По данным электрооборудования стенда постоянного тока (см. Приложение А) рассчитать ЭДС преобразователя, напряжение на якоре и ток якоря, обеспечивающие работу системы в заданной точке (для своего варианта) и построить механическую характеристику, проходящую через данную точку.

2.1.2 Рассчитать диапазон регулирования скорости в разомкнутой системе ТП – Д и определить коэффициент усиления операционного усилителя DA2, обеспечивающего в замкнутой по скорости системе заданный диапазон регулирования (для своего варианта).

2.1.3 Рассчитать коэффициент усиления операционного усилителя DA2, обеспечивающий в системе с отрицательной обратной связью по току якоря допустимое отклонение от заданного тока (для своего варианта).

2.1.4 Оценить максимально допустимые значения тока якоря, момента и скорости вращения исследуемого двигателя.

2.2 Исследование системы ТП – Д

2.2.1 Регулировочные характеристики

Принципиальная схема лабораторной установки для исследования двигателя независимого возбуждения в системе ТП – Д приведена на рисунке 11.

2.2.1.1 В настроенной системе электропривода (см. п. 2.1.4 «Настройка системы электропривода») постепенно увеличивая напряжение на якоре $U_{я}$ (убедиться, что перемычка между клеммами VS3 и VS4 установлена, добавочное сопротивление в цепи якоря закорочено $RQ = 0$), выставить на якоре двигателя максимальное напряжение, величина которого устанавливается равной номинальному или по конструктивным особенностям стенда менее номинального $U_{я} = U_{ТП} \leq U_{Н}$ и уточняется у преподавателя. Двигатель разгонится при этом до максимальной скорости ω_{\max} при регулировании напряжения на якоре $U_{я} = \text{var}$.

При изменении напряжения задания $U_{зя}$ экспериментально снять изменение параметров электропривода (регулировочные и статические характеристики) при его работе **на холостом ходу** от максимальной скорости до полной остановки:

- скорости вращения двигателя $n = f(U_{зя})$;
- момента на валу $M_{с} = f(U_{зя})$;
- тока якоря двигателя $I_{я} = f(U_{зя})$;
- напряжения на якоре двигателя $U_{я} = f(U_{зя})$;
- напряжения сети переменного тока $U_2 = f(U_{зя})$;
- тока из сети $I_2 = f(U_{зя})$;
- активной мощности из сети $P_2 = f(U_{зя})$.

2.2.1.2 При неизменном токе якоря $I_{я} = \text{const}$, номинальном токе возбуждения $i_{в} = \text{const}$ установить напряжение на якоре $U_{я} \approx 0,2 \cdot U_{Н}$, нагрузить двигатель моментом $M_{в} = M_{зад}$ и измерить ток якоря $I_{язад}$, соответствующий заданному моменту $M_{зад}$.

Постепенно увеличивая напряжение на якоре $U_{я}$, выставить номинальное значение напряжения $U_{я} = U_{Н}$ на якоре двигателя. Двигатель разгонится до максимальной скорости ω_{\max} при ее регулировании изменением напряжения на якоре $U_{я} = \text{var}$. С помощью нагрузочного устройства восстановить заданное значение тока якоря $I_{язад}$.

Потенциометром RP1 модуля А7 уменьшить **напряжение управления $U_{зя}$ на клемме X5** модуля А7, при этом снизится напряжение на якоре и скорость двигателя. С помощью нагрузочного устройства восстановить заданное значение тока якоря $I_{язад}$ и зафиксировать параметры по п. 2.2.1.1.

2.2.1.3 В ходе снятия характеристик преобразователь сначала работает в выпрямительном режиме. При дальнейшем снижении напряжения управления он перейдет в инверторный режим работы, при этом необходимо зафиксировать характерные точки перехода двигателя в различные режимы работы: моментного тормоза, противовключения, динамического торможения.

2.2.1.4 По окончании эксперимента построить зависимости:

- напряжения на якоре двигателя $U_{я} = f(U_{зя})$;
 - скорости вращения двигателя $n = f(U_{зя})$;
 - момента на валу $M_C = f(\omega)$;
 - активной мощности из сети $P_2 = f(\omega)$,
- а также рассчитать и построить зависимости от скорости:
- КПД системы $\eta_{тп-д} = f(\omega)$;
 - коэффициента мощности системы $km = f(\omega)$.

2.2.2 Статические характеристики разомкнутой системы

2.2.2.1 Характеристики системы следует снимать для значений напряжения управления преобразователем $U_{зя} = \text{const}$, обеспечивающих работу двигателя:

- при максимальном напряжении на якоре;
- по результатам предварительных расчетов;
- **максимальной** скорости $\omega_{\text{макс}}$ двигателя и заданном токе якоря $I_{я\text{зад}}$ (из предыдущего опыта – см. п. 2.2.1.2);
- **минимальной** скорости $\omega_{\text{мин}}$ и заданном токе якоря $I_{я\text{зад}}$.

2.2.2.2 Значение **минимальной скорости** следует определить экспериментальным путем. Плавным изменением напряжения управления преобразователем $U_{зя} = \text{const}$ и момента нагрузочной машины M_C остановить двигатель (в режиме моментного тормоза) при двойном значении заданного тока $I_{я} = 2 \cdot I_{я\text{зад}}$, а затем, не изменяя напряжение управления, снизить нагрузку до заданного тока $I_{я} = I_{я\text{зад}}$. Значение скорости в этом режиме соответствует минимальной.

2.2.2.3 В настроенной системе электропривода при неизменном напряжении задания $U_{зя} = \text{const}$, номинальном токе возбуждения $i_b = \text{const}$ при изменении момента статической нагрузки M_C , создаваемого нагрузочным устройством, снять механические характеристики, проходящие через точки п. 2.2.2.1. При снятии механических характеристик фиксировать параметры электропривода:

- скорость вращения двигателя $n = f(M_C)$;
- ток якоря двигателя $I_{я} = f(M_C)$;
- напряжение на якоре двигателя $U_{я} = f(M_C)$;
- напряжение сети переменного тока $U_C = f(M_C)$;
- ток из сети $I_C = f(M_C)$;
- активную мощность из сети $P_C = f(M_C)$.

Характеристики снимать в пределах допустимых значений (см. п. 1.4) для всех возможных режимов работы: двигательного, идеального холостого хода, рекуперативного торможения.

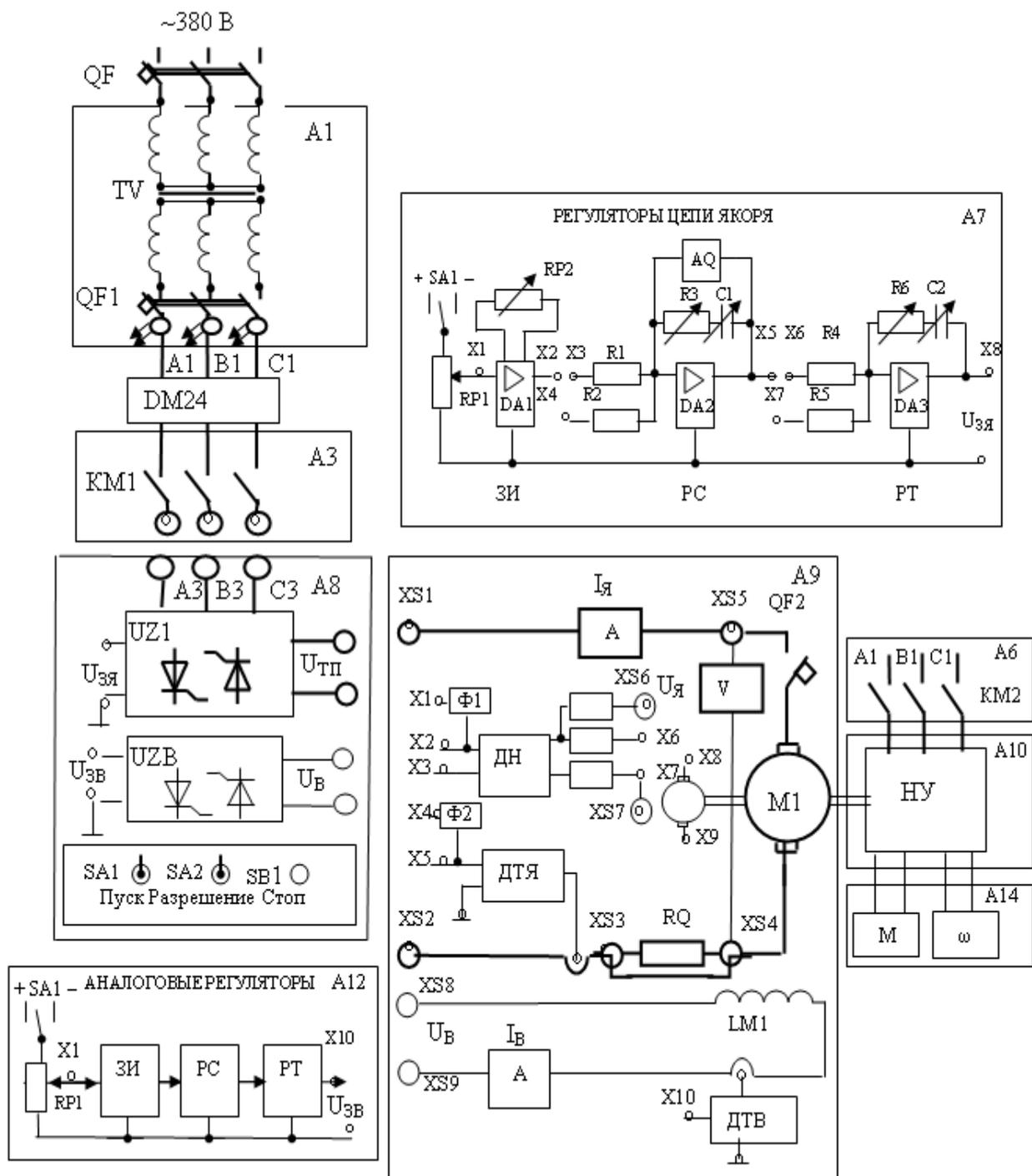


Рисунок 11 – Схема к лабораторным работам 2 и 3
«Исследование системы ТП – Д»

Обязательно фиксируются граничные точки перехода из одного режима работы в другой.

При малых токах якоря желательно зафиксировать точку перехода в прерывистый режим, для чего на вход осциллографа подключить выход датчика тока ДТЯ.

2.2.2.4 Снять статические характеристики двигателя при неизменном напряжении на выходе преобразователя UZ1 $U_{ТП} = U_{ТП} = \text{const}$ (см. п. 2.2.1.1) при изменении момента статической нагрузки M_C :

- скорости вращения двигателя $n = f(M_C)$;
- тока якоря двигателя $I_{Я} = f(M_C)$;
- напряжения на якоре двигателя $U_{Я} = f(M_C)$.

В процессе снятия характеристик необходимо поддерживать заданную величину напряжения $U_{ТП} = \text{const}$ во всех режимах работы и контролировать ток возбуждения.

2.2.2.5 По окончании экспериментов снизить до нуля момент на валу $M_C = 0$ (установить потенциометр RP1 модуля A14 в исходное нулевое положение), остановить двигатель M1 (установить потенциометр RP1 модуля A7 в исходное нулевое положение).

2.2.2.6 По окончании опыта построить характеристики (см. п. 2.2.2.3), рассчитать жесткости каждой из механических характеристик в режиме непрерывного тока и оценить точность регулирования, рассчитать диапазон регулирования скорости разомкнутой системы ТП – Д. Рассчитать и построить зависимости КПД и коэффициента мощности системы от момента на валу.

2.3 Настройка и исследование системы ТП-Д с отрицательной обратной связью по скорости.

2.3.1 Установить **знак обратной связи** по скорости:

- снять нагрузку с двигателя (потенциометр RP1 нагрузочного устройства установить в крайнее левое положение);
- установить потенциометр RP2 задатчика интенсивности ЗИ модуля A7 в крайнее правое положение – режим минимального темпа изменения напряжения $U_{Зя}$;
- проверить подключение напряжения управления $U_{Зя}$ преобразователем с клеммы X5 «Регуляторов цепи якоря» (модуль A7);
- установить скорость вращения двигателя до значения $(0,1 - 0,2) \cdot \omega_{ОН}$;
- подключить выходы тахогенератора X8, X9 к входам X6, X7 датчика напряжения ДН (см. рисунок 11);
- подключить выход X3 датчика ДН к нулевой шине «Регуляторов цепи якоря» (модуль A7);
- временно подключить второй выход датчика X2 к входу X4 усилителя DA2 и проверить изменение скорости (при отрицательной обратной связи скорость должна снизиться, если обратная связь положительна – поменять местами выходы ДН и повторить подключение).

2.3.2 Определение **минимальной скорости** двигателя в замкнутой системе:

- установить скорость вращения двигателя 0,1– 0,2 от номинальной;
- при отрицательной обратной связи по скорости нагрузить двигатель двойным заданным моментом $2 \cdot M_{\text{зад}}$ и потенциометром RP1 модуля А7 снижать напряжение $U_{\text{зя}}$ до остановки двигателя. Снизить нагрузку двигателя до $M_{\text{зад}}$, замерить минимальную скорость $\omega_{\text{мин1}}$ двигателя и сравнить ее с расчетной $\omega_{\text{мин}}$ при заданном диапазоне регулирования $D_{\text{зам}}$;
- если $\omega_{\text{мин1}} \neq \omega_{\text{мин}}$, снизить нагрузку на двигатель, изменить коэффициент усиления усилителя и повторять предыдущий пункт до получения заданного диапазона регулирования $D_{\text{зам}}$;

2.3.3 Снять **механические характеристики** системы электропривода, проходящие через **точки минимальной и максимальной скорости при заданном моменте $M_{\text{зад}}$** , измеряя при этом скорость, момент на валу двигателя, напряжение на якоре. Механические характеристики замкнутой системы снимаются в двигательном режиме и режиме рекуперативного торможения.

2.3.4 Построить механические характеристики системы, рассчитать их жесткости, диапазон регулирования скорости в замкнутой системе и сравнить с точностью и диапазоном регулирования в разомкнутой системе.

2.4 Настройка и исследование системы ТП-Д с отрицательной обратной связью по току якоря

2.4.1 Для выполнения эксперимента:

- восстановить настройку разомкнутой системы ТП-Д, для чего потенциометром RP1 «Регуляторов цепи якоря» (модуль А7) остановить двигатель, отключить обратную связь по скорости, установить сопротивления в схеме модуля А7 в предыдущее положение, соответствующее разомкнутой системе;
- установить напряжение на выходе ТП несколько выше заданного (~ 150 В) и снизить его до заданного с помощью потенциометра SA3 блока ограничения АQ модуля А7;
- при остановленном двигателе отключить тумблер «Разрешение» на модуле А8 тиристорного преобразователя.

2.4.2 Подключение **обратной связи по току**:

- установить потенциометр RP1 в крайнее левое положение, напряжение управления $U_{\text{зя}} = 0$;
- ввести в цепь якоря добавочное сопротивление RQ (снять перемычку XS3 – XS4);

- установить потенциометр RP2 задатчика интенсивности ЗИ модуля А7 в крайнее правое положение – режим минимального темпа изменения напряжения $U_{з\dot{я}}$;
- уменьшить ток возбуждения двигателя до нуля;
- изменением сопротивления R3 «Регуляторов цепи якоря» (модуль А7) выставить рассчитанный **коэффициент усиления усилителя DA2**;
- подключить нулевой выход датчика тока якоря ДТЯ (модуль А9) к нулевой шине «Регуляторов цепи якоря» (модуль А7);
- включить тиристорной преобразователь в работу (включить тумблер «Разрешение» на модуле А8) ;
- потенциометром RP1 «Регуляторов цепи якоря» (модуль А7) установить ток якоря $I_{\dot{я}} \cong 3 \text{ А}$;
- кратковременно подключить второй выход X5 датчика тока ДТЯ (модуль А9) ко входу X4 усилителя DA2 (модуль А7) и проверить **знак обратной связи**. При отрицательной обратной связи ток должен снизиться. Если обратная связь положительная – добавить третий промежуточный усилитель DA3 и повторить настройку обратной связи по току сначала).
- с помощью убедиться, что ток якоря регулируется и выставить ток якоря при заданном моменте $M_{\text{зад}}$;
- не изменяя положение потенциометра RP1 модуля А7, отключением SA1 модуля А7 установить напряжение на выходе преобразователя UZ1, равное нулю.

2.4.3 Подключение цепи якоря

- отключить тумблер «Разрешение» на модуле А8 тиристорного преобразователя;
- закоротить перемычкой XS3 – XS4 добавочное сопротивление RQ цепи якоря;
- установить **номинальный ток возбуждения** двигателя;
- включить тумблер «Разрешение» на модуле А8 тиристорного преобразователя;
- включением SA1 с предварительно выставленным положением потенциометра RP1 произвести разгон двигателя. Определить пусковой ток двигателя и скорректировать полученное значение потенциометром RP1. Отклонение тока от заданного при выходе на заданную характеристику устанавливается коэффициентом усиления по току – резистором R3.

2.4.4 Снять механическую характеристику системы, используя работу **нагрузочного устройства с обратной связью по скорости**, измеряя скорость, момент, напряжение на якоре и ток якоря.

2.4.5 Построить механическую и электромеханическую характеристики системы. Оценить величину отклонения тока якоря от заданного значения. На графике характеристик построить также зависимость напряжения на якоре от момента на валу.

3 Исследование регулировочных свойств системы регулирования тока возбуждения

3.1 При нулевых положениях потенциометров RP1 модуля А7 и RP1 модуля А14 включить контактор КМ1.

Изменяя напряжение управления UZ1 с помощью RP1 модуля А7, убедиться, что выходное напряжение преобразователя $U_{я}$ регулируется в необходимых пределах.

3.2 При нулевом напряжении управления UZ1 и нулевом напряжении на якоре $U_{я} = 0$ начать разгон двигателя, поднимая напряжение на якоре до заданной величины $U_{я} = U_{зад}$; с помощью нагрузочного устройства обеспечить протекание в цепи якоря заданного значения тока $I_{язад}$.

3.3 В настроенной системе электропривода при неизменном токе якоря $I_{я} = I_{язад} = \text{const}$, напряжении на якоре $U_{я} = U_{зад}$ при уменьшении тока возбуждения $i_{в}$ вниз от номинального снять изменение параметров

электропривода (механические, электромеханические и энергетические характеристики):

- скорости вращения двигателя $\omega = f(i_{в})$;
- момента на валу $M_{с} = f(i_{в})$;
- напряжения на якоре двигателя $U_{я} = f(i_{в})$;
- напряжения сети переменного тока $U_2 = f(i_{в})$;
- тока из сети $I_2 = f(i_{в})$;
- активной мощности из сети $P_2 = f(i_{в})$.

ВНИМАНИЕ!

– в ходе опыта внимательно следить за скоростью. При ослаблении поля проявляется действие реакции якоря и возможен разнос двигателя;

– при возникновении резкого увеличения скорости следует уменьшить момент на валу и повысить ток возбуждения двигателя.

3.4 Построить регулировочные характеристики - зависимости скорости $\omega = f(i_{в})$ и момента на валу $M_{с} = f(i_{в})$ от тока возбуждения двигателя, а также зависимости момента на валу $M_{с} = f(\omega)$, мощности $P_2 = f(\omega)$ и КПД системы $\eta = f(\omega)$ от скорости вращения двигателя.

3.5 По данным п. 3.3...3.4 определить точки максимальной $\omega_{\text{макс}}$ скорости и минимальной $\omega_{\text{мин}}$ скорости при токе якоря $I_{я} = I_{язад}$.

Снять и построить механические характеристики двигателя, проходящие через точки максимальной скорости и минимальной скорости.

3.6 По окончании опыта установить номинальное значение тока возбуждения, снять нагрузку двигателя и остановить двигатель, снизив до нуля напряжение на якоре.

По данным опыта рассчитать жесткости механических характеристик и оценить точность и диапазон регулирования скорости в системе с регулированием тока возбуждения.

4 Содержание отчета

4.1 Привести принципиальную схему лабораторной установки, выделить жирными линиями силовые цепи.

4.2 Представить предварительные расчеты.

4.3 Привести таблицы результатов экспериментов, расчетные формулы и результаты расчетов КПД, коэффициента мощности, жесткости и диапазона регулирования

4.4 Представить механические характеристики на одном рисунке, указать значения максимальной и минимальной скоростей.

4.5 Привести графики зависимостей, указанных при описании экспериментов.

4.6 Отдельно представить зависимости системы регулирования тока возбуждения.

4.7 Построить структурную схему разомкнутой системы ТП-Д для статики.

4.8 Рассчитать и построить энергетические диаграммы систем, на которых в масштабе указать:

- активную мощность, потребляемую из сети;
- мощность потерь в преобразователе;
- мощность, поступающую на двигатель;
- мощность потерь в двигателе;
- мощность на валу.

Диаграммы строятся для двигательного режима и режима рекуперативного торможения. Для каждой диаграммы привести значения КПД и коэффициента мощности.

4.9 В выводах по работе оценить основные показатели регулирования скорости и момента в системе, указать способы улучшения этих показателей.

Контрольные вопросы

1 Каковы предельные значения тока якоря и скорости двигателя лабораторной установки?

2 Какому напряжению управления ТП соответствует угол регулирования, равный девяносто градусам?

3 Какими условиями ограничены максимальные напряжения ТП в инверторном и выпрямительном режимах?

4. Как определить минимальную скорость двигателя в системе?

5 Почему механическая характеристика двигателя в системе ТП-Д мягче, чем естественная характеристика двигателя?

6 Как изменится точность регулирования скорости при изменении напряжения управления ТП?

7 Как определить точку перехода из непрерывного режима работы ТП в прерывистый?

8 При каких условиях двигатель в системе ТП – Д с отдельным управлением переходит из двигательного режима в режим генераторного торможения?

9 В каком режиме КПД системы ТП-Д равен нулю?

10 В каком режиме работает двигатель, когда коэффициент мощности системы равен ТП-Д нулю?

11 Как изменится точность регулирования скорости при изменении тока возбуждения?

12 Как изменяется коэффициент полезного действия двигателя в системе регулирования тока возбуждения?

13 Какими условиями ограничен диапазон регулирования скорости в системе регулирования тока возбуждения?