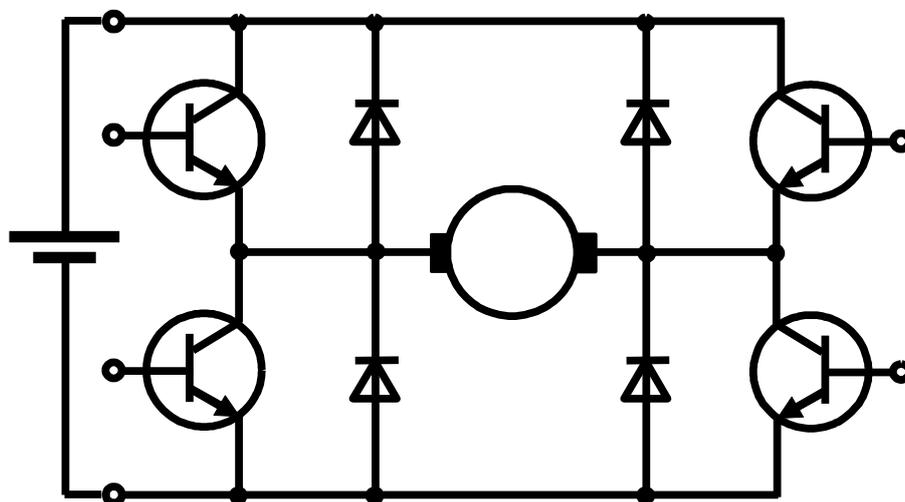


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И
ЭЛЕКТРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ



Томск
2023

УДК 621.313: 621.314

ББК 31.291: 32.859

З-179

Рецензент:

Коцубинский В.П., доцент кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании ТУСУР, канд. техн. наук

Зайченко, Татьяна Николаевна

З-179 Методические указания по выполнению лабораторных работ в лаборатории электрических машин и электропреобразовательных устройств / Т.Н. Зайченко, Ю.В. Гусев, В.И. Хатников, С.К. Вавилова. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2023. – 64 с.

Приведены описания восьми лабораторных работ, посвященных исследованию электрических машин (электромашинного генератора постоянного тока, трехфазного асинхронного двигателя, двигателя постоянного тока, однофазного трансформатора и сельсинов) и электропреобразовательных устройств (однофазных выпрямителей и сглаживающих фильтров, стабилизаторов напряжения компенсационного типа, преобразователей постоянного напряжения). Лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории электрических машин и электропреобразовательных устройств (ауд. 310, корпус ФЭТ ТУСУРа).

Описаны схемы исследования, характеристики, программы проведения испытаний, основные выражения для расчета характеристик исследуемых устройств, контрольные вопросы.

Для студентов высших учебных заведений технических направлений подготовки.

Одобрено на заседании каф. КСУП протокол № 4 от 29.11.2023

УДК 621.313: 621.314

ББК 31.291 32.859: 32.859

© Зайченко Т.Н., Гусев Ю.В.,
Хатников В.И., Вавилова С.К., 2023
© Томск. гос. ун-т систем упр. и
радиоэлектроники, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 4 |
| Порядок выполнения работы и отчетность | 5 |
| Техника безопасности в лаборатории электрических машин и преобразовательной техники | 6 |
| Лабораторная работа № 1. Исследование электромашинных генераторов как источников первичного электропитания | 7 |
| Лабораторная работа № 2. Исследование однофазного двух-обмоточного трансформатора | 12 |
| Лабораторная работа № 3. Исследование универсального асинхронного двигателя | 19 |
| Лабораторная работа № 4. Исследование системы электропривода с исполнительным двигателем постоянного тока | 25 |
| Лабораторная работа № 5. Исследование выпрямителей однофазного тока и сглаживающих фильтров | 33 |
| Лабораторная работа № 6. Исследование стабилизаторов постоянного напряжения компенсационного типа | 40 |
| Лабораторная работа № 7. Исследование основных схем преобразователей напряжения | 48 |
| Лабораторная работа № 8. Исследование сельсинов | 56 |
| Список используемых сокращений | 63 |
| Литература | 64 |

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее пособие предназначено для студентов следующих факультетов ТУСУРа: факультета вычислительных систем, факультета электронной техники, радиоконструкторского и радиотехнического факультетов.

Исследование электромеханических систем, элементов автоматического управления, электропривода необходимо вследствие их широкого распространения в промышленности, в робототехнике, в радиотехнических системах и комплексах, автоматизированных производствах.

Техническая база и методические разработки обеспечивают проведение лабораторного практикума по курсам: «Электрические машины», «Электрические машины и электропривод», «Электропреобразовательные устройства радиоэлектронных средств», «Устройства электропитания радиоэлектронных средств», «Устройства электропитания электронных систем», «Энергосиловое оборудование воздушных судов и аэропортов» и т. п.

В процессе выполнения лабораторных работ студенты получают практические навыки по выбору элементов электромеханических систем, изучают характеристики электропреобразовательных устройств, как элементов автоматического управления исполнительными механизмами, изучают специфику их применения в конкретных областях техники. Существенная роль отводится вопросам взаимодействия, взаимовлияния, электромагнитной совместимости преобразователей параметров электрической энергии и электромеханических систем. В каждой работе приведены описания основных физических процессов, необходимые аналитические соотношения, конструктивные особенности преобразователей.

В процессе исследования электромеханических систем студенты получают навыки:

- исследования систем с различными способами управления, имеющих характеристики различной крутизны и нелинейности.
- выявления особых точек и зон прецизионности измерений, плавного изменения параметров датчиков управляющих воздействий;
- выполнения правил техники безопасности при наличии опасных уровней напряжений, вращающихся частей.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И ОТЧЕТНОСТЬ

Перед практическим выполнением лабораторной работы необходимо ознакомиться с ее описанием, изучить порядок выполнения, приготовить необходимые таблицы и произвести необходимые расчеты, если таковые предшествуют эксперименту. Весьма важно уяснить назначение всех элементов экспериментальной установки и их взаимодействие.

После того, как бригада студентов полностью подготовилась к выполнению работ (включая сборку схемы эксперимента), преподаватель, ведущий занятия проверяет правильность сборки схем и проводит контроль знаний (степень готовности).

Полученные экспериментальные данные оцениваются студентами и сравниваются с теоретическими положениями, после чего предъявляются преподавателю для проверки. Если в процессе эксперимента допущена ошибка, преподаватель принимает решение о повторении опыта или отдельных его частей.

Экспериментальные данные обрабатываются, строятся необходимые графики, производятся расчеты и предоставляются в виде отчета, который должен содержать:

1) название работы и ее номер, дату выполнения работы, номер студенческой группы и состав бригады;

2) цель работы, программу работы и необходимые схемы эксперимента с указанием мест постановки измерительных приборов и устройств;

3) таблицы опытных и расчетных данных по каждому пункту программы исследований;

4) графики и характеристики, построенные на основе опытных и расчетных данных с указанием на них номинальных величин и других характерных точек;

5) краткие выводы, объясняющие характер полученных зависимостей и ответы на контрольные вопросы, предложенные в тексте описаний работ.

Отчет составляется в соответствии с требованиями ЕСКД (образцы отчетов представлены на информационном стенде кафедры).

В случае своевременной подготовки и выполнения работы отчет составляется бригадой студентов, а при невыполнении этих требований – индивидуально.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

ВНИМАНИЕ! Лабораторные стенды оснащены источниками электропитания переменного напряжения 220 В, 50 Гц; 110 В, 50 Гц; 110 В, 400 Гц и постоянного напряжения 110 В и 27 В.

1. Перед началом сборки схемы необходимо изучить расположение приборных панелей, элементов управления, источников питания лабораторного стенда, привести все выключатели в положение «Выключено» (в нижнее положение).

2. После сборки схема должна быть предъявлена для проверки преподавателю.

Включать схему под напряжение можно лишь после проверки преподавателем и только с его разрешения.

Включение неверно собранных схем под напряжение может привести к выходу из строя измерительных приборов, элементов управления исследуемых объектов. За причиненный ущерб студенты несут материальную ответственность.

Категорически запрещается студентам включать автомат общего питания лаборатории.

3. Запрещается во время экспериментов производить изменения в схемах, касаться токоведущих частей, клемм приборов и других неизолированных элементов, при включенном питании.

4. Во время работы электромеханических преобразователей необходимо исключить возможность попадания посторонних предметов, захвата частей тела вращающимися элементами.

5. При любом повреждении или несчастном случае немедленно выключить напряжение выключателем на стенде или автоматом общего питания лаборатории.

6. Студенты не допускаются к выполнению работы без предварительного инструктажа по технике безопасности и соответствующей записи об этом в специальном журнале.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАШИННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ КАК ИСТОЧНИКОВ ПЕРВИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Цель работы. Экспериментальное исследование основных характеристик генераторов постоянного тока с независимым возбуждением и с самовозбуждением.

Схема экспериментальной установки

Электрические схемы для экспериментального исследования характеристик генератора постоянного тока представлены на рис. 1.1 и рис. 1.2: схема с независимым возбуждением (рис. 1.1) и схема с параллельным возбуждением (рис. 1.2).

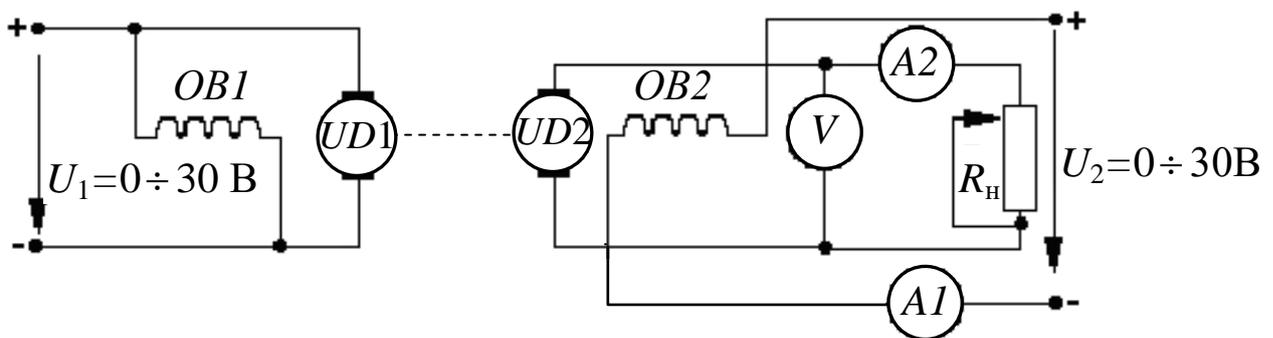


Рис. 1.1 – Схема для исследования генератора постоянного тока с независимым возбуждением

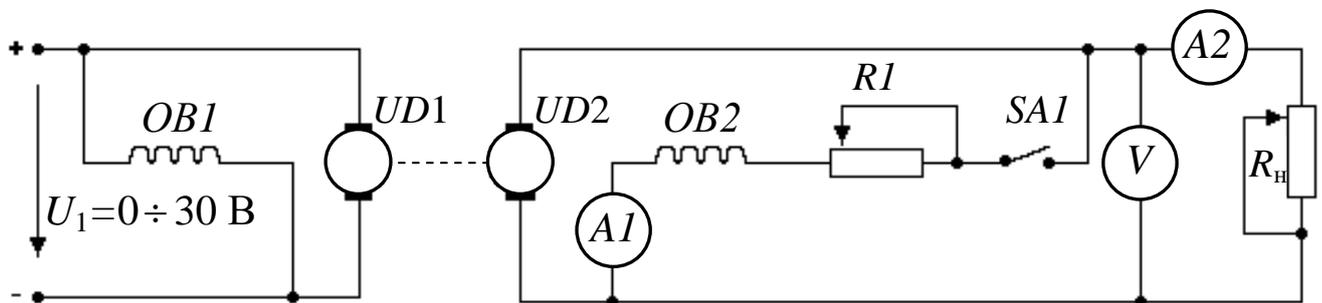


Рис. 1.2 – Схема для исследования генератора постоянного тока с параллельным возбуждением

Здесь электрическая машина $UD2$ – исследуемый генератор. В качестве приводного двигателя используется двигатель постоянного тока $UD1$, включенный по схеме параллельного возбуждения. Источники напряжений U_1 и U_2 являются регулируемыми. Они позволяют изменять величину питающего напряжения от 0 до 30 В. Управление источником напряжения U_1 обеспечивается регулировкой скорости вращения приводного двигателя; управлением источником напряжения U_2 – регулировка тока в цепи обмотки возбуждения $OB2$, а следовательно, и магнитного потока возбуждения Φ , генератора. В качестве нагрузки вместо потенциометра можно использовать магазин сопротивлений испытательного стенда, схема которого представлена на рис. 1.3. На стенде верхнее положение тумблера соответствует замкнутому состоянию ключей $SA1..8$, а нижнее – разомкнутому.

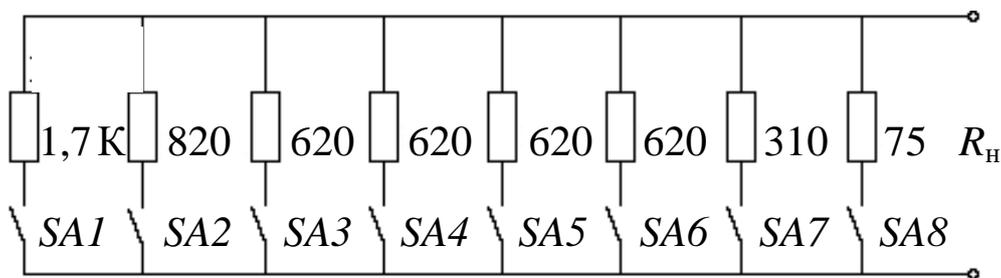


Рис. 1.3 – Магазин сопротивлений

Скорость вращения ротора n [об / мин] измеряется электронным тахометром. При этом тумблер переключения тахометра на испытательном стенде должен быть установлен в положение «Двигатель постоянного тока».

Основные теоретические сведения

Основными характеристиками генераторов постоянного тока являются:

- характеристика холостого хода;
- внешняя характеристика;
- регулировочная характеристика;
- нагрузочная характеристика;
- выходная характеристика.

Характеристика холостого хода – это зависимость

$$E_0 = f(I_B) \text{ при } n = \text{const}; I_A = 0,$$

где E_0 – напряжение на выходе генератора; I_B – ток возбуждения генератора; n – скорость вращения приводного двигателя, I_A – ток якоря генератора.

При постоянной скорости вращения и тока нагрузки данная зависимость практически характеризует магнитную цепь машины:

$$E_0 = C_E n \Phi = K_E \Phi = f(I_B),$$

где C_E , K_E – электромашинная постоянная и конструктивный коэффициент электрической машины по ЭДС.

Если для генератора с независимым возбуждением это обычная гистерезисная зависимость, то для генератора с самовозбуждением, где ток возбуждения имеет лишь одну полярность, это часть общей гистерезисной характеристики. Обусловлено это тем, что в генераторе с самовозбуждением необходимо выполнение трех условий возбуждения машины:

- наличие остаточного магнитного потока в магнитной системе машины.
- совпадение магнитного потока, создаваемого обмоткой возбуждения, с остаточным потоком.
- меньшее критического сопротивления в цепи возбуждения.

Очевидно, что изменение полярности тока возбуждения приведет к невыполнению второго условия возбуждения генератора.

Внешняя характеристика – это зависимость

$$U_{\text{вых}} = f(I_A) \text{ при } n = \text{const}, I_B = I_{\text{вн}} = \text{const},$$

Для измерения данной характеристики необходимо выбрать номинальное значение ($E_{\text{вн}}$) напряжения холостого хода и соответствующее ему значение тока возбуждения $I_{\text{вн}} = f(E_{\text{вн}})$ выбирается в точке перегиба характеристики холостого хода. Внешняя характеристика определяет эксплуатационные свойства машины, величину изменения напряжения на нагрузке при изменении сопротивления нагрузки.

Регулировочная характеристика – это зависимость

$$I_B = f(I_H) \text{ при } n = \text{const}, U_{\text{ВЫХ}} = \text{const}.$$

Регулировочная характеристика показывает, как нужно изменить ток возбуждения, чтобы при изменении тока нагрузки выходное напряжение генератора осталось неизменным.

Нагрузочная характеристика – это зависимость

$$U_{\text{ВЫХ}} = f(I_B) \text{ при } n = \text{const}, I_A = I_{\text{ЯН}} = \text{const}.$$

Легко заметить, что эта зависимость аналогична характеристике холостого хода, с той лишь разницей, что ток нагрузки не равен нулю. Используя нагрузочную характеристику и характеристику холостого хода, можно оценить размагничивающее действие реакции якоря. Действительно, величина уменьшения выходного напряжения за счет реакции якоря может быть определено по выражению:

$$U_{\text{РЯ}} = E_0 - U_{\text{ВЫХ}} - I_A R_A,$$

где значение $I_A R_A$ может быть легко вычислено по выбранному значению якоря (R_A – указывает преподаватель).

Выходная характеристика – это зависимость

$$U_{\text{ВЫХ}} = f(n) \text{ при } I_B = \text{const}; \text{ а) } I_A = 0 \text{ или б) } I_A \neq 0.$$

При холостом ходе $U_0 = E_0 = C_E n \Phi$, магнитный поток постоянен и характеристика линейна. В нагруженном генераторе ($I_A \neq 0$) магнитный поток не остается постоянным, т.к. поток реакции якоря будет размагничивать машину и тем сильнее, чем больше скорость вращения якоря, следовательно, выходная характеристика нелинейна.

Программа работы

1. Собрать схему с независимым возбуждением рис.1.1, уяснить по макету назначение элементов.

2. Измерить характеристику холостого хода. Данные измерения внести в таблицу и представить в виде графиков.

Измерять характеристику следует, сначала увеличивая ток возбуждения (прямая ветвь), а затем уменьшая (обратная).

Определить по характеристике холостого хода номинальные значения $E_{0н}$ и $I_{вн}$.

3. Произвести измерение внешних характеристик обеих схем включения генератора. Результаты измерений свести в таблицы и представить в виде графиков. Определить процентное снижение напряжения на нагрузке при изменении тока якоря от нуля до номинального значения.

4. Измерить регулировочную характеристику. Данные свести в таблицу и представить графиком.

5. Измерить нагрузочную характеристику. Данные представить таблицей и графиком и оценить реакцию якоря.

6. Измерить выходную характеристику, установив $I_{в} = I_{вн}$ при $I_{я} = 0$ и $I_{я} \neq 0$. Данные свести в таблицу и представить графиком.

7. Собрать схему включения генератора с самовозбуждением согласно рис.1.2. Выполнить пп. 2–4.

8. Сформулировать выводы по работе и ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Поясните конструктивное исполнение электромашинного генератора постоянного тока.

2. Какой закон лежит в основе принципа действия электромашинного генератора постоянного тока?

3. Каково назначение коллектора в машинах постоянного тока?

4. Какая часть электрической машины называется якорем?

5. Что нужно сделать, чтобы изменить полярность выходного напряжения генератора с самовозбуждением и с независимым возбуждением?

6. Что произойдет, если выход генератора закортить?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Цель работы. Исследование рабочих характеристик трансформатора на основе опытов холостого хода и короткого замыкания.

Основные теоретические сведения

В основе работы трансформатора лежит явление взаимной индукции. При любом изменении магнитного потока сердечника в любой обмотке, в соответствии с законом электромагнитной индукции будет наведена электродвижущая сила (ЭДС).

$$e_1 = -W_1 \frac{d\Phi}{dt}; \quad (2.1)$$

$$e_2 = -W_2 \frac{d\Phi}{dt}. \quad (2.2)$$

Поделив (1) на (2), получают коэффициент трансформации $K_{\text{тр}}$.

$$K_{\text{тр}} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_{1x}}{U_{2x}} \quad (2.3)$$

где U_{1x} и U_{2x} – напряжения на обмотках при холостом ходе трансформатора. Замена E_1 и E_2 напряжениями U_{1x} и U_{2x} возможна при условии пренебрежения падением напряжения в первичной обмотке от тока холостого хода I_{1x} .

Полезная мощность, отдаваемая трансформатором в нагрузку:

$$P_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2, \quad (2.4)$$

где φ_2 – фазный угол нагрузки.

Потребляемая мощность:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1, \quad (2.5)$$

где φ_1 – угол сдвига фаз между напряжением и током первичной обмотки.

Коэффициент полезного действия (КПД) трансформатора

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% = \frac{P_1 - \Delta P}{P_2} 100\% = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} 100\%, \quad (2.6)$$

где $\Delta P = \Delta P_c + \Delta P_m$ – суммарные потери в стали (ΔP_c) и в меди (ΔP_m) трансформатора.

Потери в трансформаторе могут быть определены по данным опытов холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) трансформатора.

Схема экспериментальной установки

Исследование трансформатора проводится при помощи схемы рис. 2.1. В качестве нагрузки используется магазин сопротивлений испытательного стенда (см. рис. 1.3).

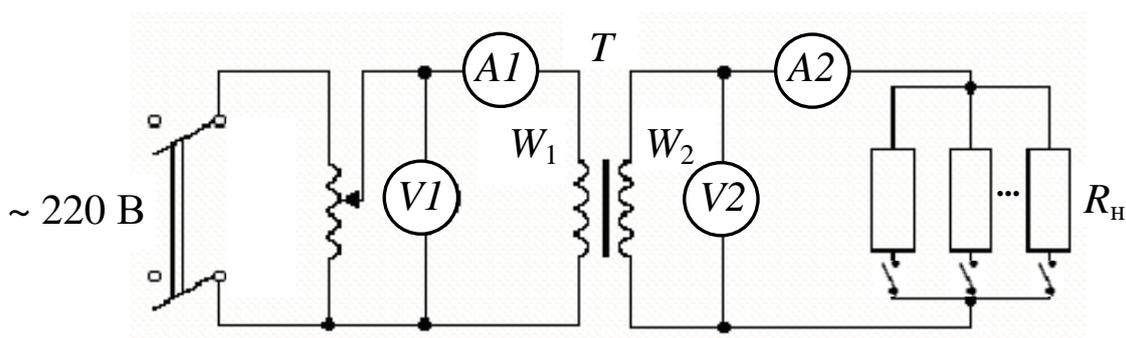


Рис. 2.1 – Схема для исследования трансформатора

Основные расчетные соотношения

Потери в стали трансформатора, не зависят от нагрузки и могут быть определены из опыта холостого хода ($R_H = \infty$)

$$\Delta P_c = P_{1x} - I_{1x}^2 R_1, \quad (2.7)$$

где P_{1x} – активная мощность потерь в трансформаторе при холостом ходе; R_1 – активное сопротивление первичной обмотки.

Потери в обмотках ΔP_M зависят от тока во вторичной обмотке I_2 и могут быть определены из опыта короткого замыкания трансформатора:

$$\Delta P_M \cong \beta^2 P_K, \quad (2.8)$$

где $\beta = \frac{I_2}{I_{2н}}$ – коэффициент нагрузки; $I_{2н}$ – номинальный ток трансформатора; P_K – активная мощность, потребляемая трансформатором при коротком замыкании.

По мере роста тока нагрузки I_2 выходное напряжение трансформатора U_2 будет уменьшаться вследствие падения напряжения на сопротивлениях R_1 и R_2 . Это падение принято выражать в относительных единицах как отношение разности вторичного напряжения при холостом ходе и при нагрузке к вторичному напряжению при холостом ходе:

$$\Delta U = \frac{U_{2х} - U_2}{U_{2х}}. \quad (2.9)$$

Это же значение может быть рассчитано приближенно на основе данных опыта короткого замыкания:

$$\Delta U = \beta (U_{ка} \cos \varphi_K + U_{кр} \sin \varphi_K), \quad (2.10)$$

где

$$U_{ка} = \frac{U_{1к} \cos \varphi_K}{U_{1н}}; \quad U_{кр} = \frac{U_{1к} \sin \varphi_K}{U_{1н}}; \quad \varphi_K = \arccos \frac{P_K}{U_{1к} I_{1к}} \quad (2.11)$$

$U_{ка}$, $U_{кр}$ – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания в относительных единицах.

Рассчитав изменение вторичного напряжения ΔU для нескольких значений тока I_2 , можно построить расчетную зависимость $U_2 = f(I_2)$.

Для каждого значения тока I_2 напряжение U_2 из (2.9) равно

$$U_2 = U_{2x}(1 - \Delta U).$$

Работу трансформатора характеризует набор следующих рабочих характеристик:

$$\cos\varphi_1 = f_1(I_2); U_2 = f_2(I_2); \eta = f_3(I_2); I_1 = f_4(I_2)$$

В лабораторной работе исследуется трансформатор типа ТА – 55 с номинальными данными: $P_{1н} = 40$ Вт; $I_{2н} = 300$ мА; $R_1 = 60$ Ом.

Программа работы

1. Изучить назначение элементов схемы и собрать схему рис. 2.1.

2. Измерить зависимость $U_1 = f(I_1)$ (режим холостого хода), характеризующую магнитные свойства сердечника трансформатора.

ВНИМАНИЕ! Ток I_1 не должен превышать 450 мА.

Данные измерений свести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

| № п/п | 1 | 2 | 3 | | 10 |
|----------|---|---|---|-------|----|
| $U_1, В$ | | | | | |
| $I_1, А$ | | | | | |

Построить график $U_1 = f(I_1)$ и определить по нему (в точке перегиба характеристики) значение $U_{1н}$ и $I_{1х}$. Указать значения $U_{1н}$ и $I_{1х}$ на графике.

3. Провести опыт холостого хода, подав на вход схемы $U_1 = U_{1н}$.

Результаты измерений и расчетов свести в таблицу 2.2. Значение мощности $P_{1х}$ определять из графика рис. 2.2, который снят экспериментально для данного типа трансформатора. Сопротивление первичной обмотки $R_1 = 60$ Ом.

Таблица 2.2

| | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|--------------|----------|
| $U_{1н}$ | $I_{1х}$ | $P_{1х}$ | $U_{2х}$ | ΔP_c | $K_{тр}$ |
| В | А | Вт | В | Вт | – |
| | | | | | |

4. Измерить совокупность рабочих характеристик при активной нагрузке (набор сопротивлений на плате), изменяя ток I_2 в диапазоне от $0,25I_{2н}$ до $1,25I_{2н}$.

Для исследуемого трансформатора $I_{2н} = 300$ мА.

Все измерения проводятся при $U_{1н}$. Результаты измерений свести в таблицу 2.3 и представить в виде графиков рабочих характеристик трансформатора.

При заполнении табл. 2.3 мощность P_1 определяется по графику рис. 2.2.

Таблица 2.3

| № п/п | Опытные данные | | | | Расчетные данные | | | |
|----------|----------------|----------|-------|-------|------------------|-------|--------|-----------------|
| | I_1 | $U_{1н}$ | I_2 | U_2 | P_1 | P_2 | η | $\cos\varphi_1$ |
| | А | В | А | В | Вт | Вт | % | – |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |

5. Провести опыт короткого замыкания трансформатора.

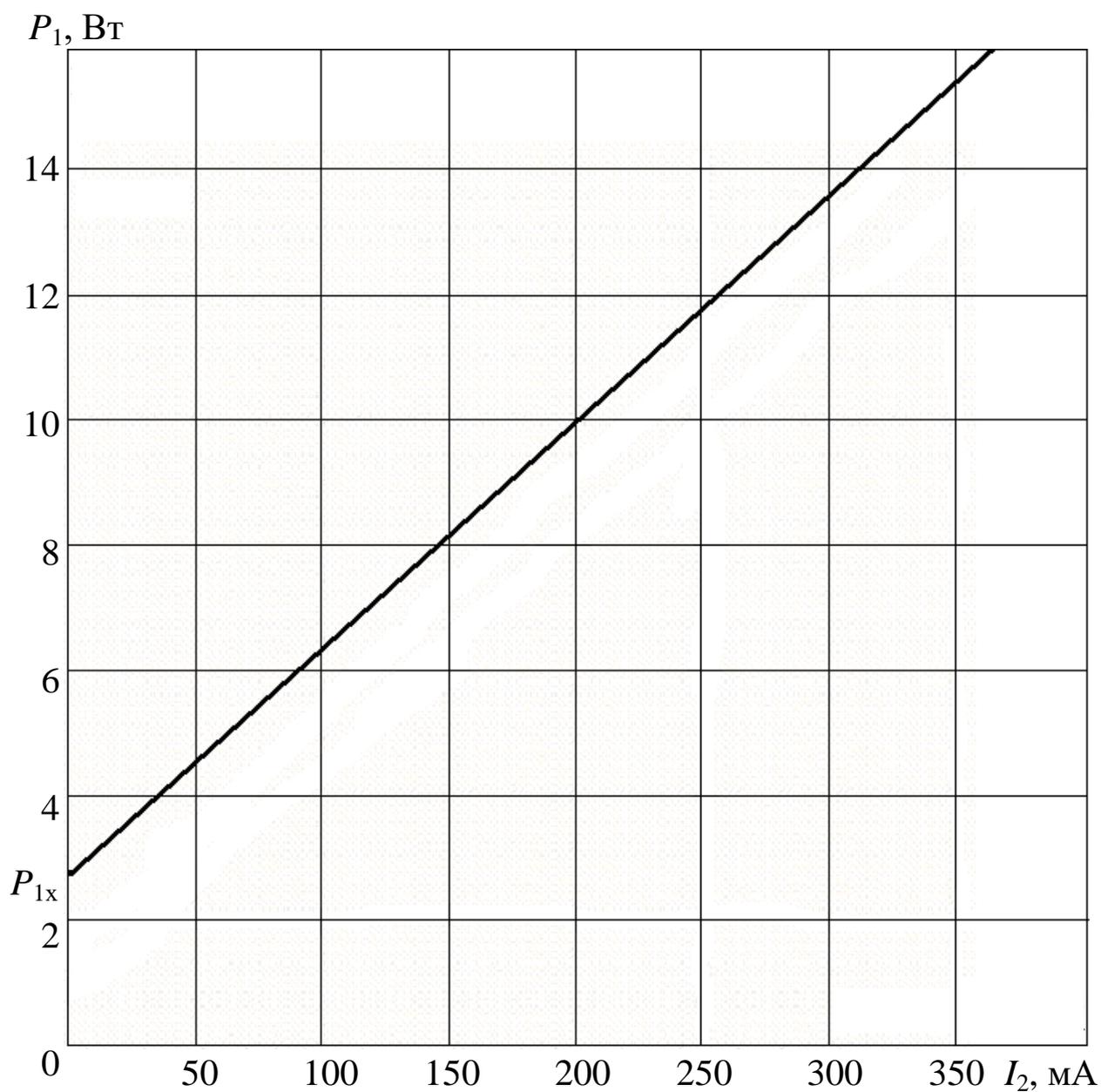
ВНИМАНИЕ! Опыт проводится при пониженном напряжении первичной обмотки. Для его выполнения необходимо:

- 1) разомкнуть цепь вторичной обмотки;
- 2) в режиме холостого хода уменьшить входное напряжение до минимального значения (оно не должно превышать 10 В);
- 3) замкнуть цепь вторичной обмотки накоротко;
- 4) постепенно увеличивать входное напряжение, контролируя ток вторичной обмотки, до выполнения условия $I_{2к} = I_{2н} = 300$ мА.

Результаты измерений **при токе $I_{2к} = I_{2н} = 300$ мА** свести в таблицу 2.4 и дополнить ее необходимыми расчетами. При выполнении расчетов принять $P_k = 0,5$ Вт.

Таблица 2.4

| | Опытные данные | | | Расчетные данные | | | | |
|--|----------------|----------|----------|------------------|-------------------|-------------------|----------|----------|
| | $I_{1к}$ | $U_{1к}$ | $I_{2к}$ | $U_{к}$ | $\cos\varphi_{к}$ | $\sin\varphi_{к}$ | $U_{ка}$ | $U_{кр}$ |
| | А | В | А | % | — | — | — | — |
| | | | | | | | | |

Рис. 2.2 – График $P_1 = f(I_2)$

В табл. 2.4 величина U_K – относительная величина напряжения короткого замыкания

$$U_K = \frac{U_{1к}}{U_{1н}} 100\%.$$

По данным опытов холостого хода и короткого замыкания рассчитать зависимости $\eta = f(I_2)$ и $U_2 = f(I_2)$.

Результаты расчетов свести в таблицу 2.5 и представить в виде графиков в одних осях с аналогичными экспериментальными зависимостями.

Таблица 2.5

| β | I_2 | ΔU | U_2 | P_2 | ΔP_M | ΔP_c | ΔP | η |
|---------|-------|------------|-------|-------|--------------|--------------|------------|--------|
| – | А | – | В | Вт | Вт | Вт | Вт | % |
| 0,25 | | | | | | | | |
| 0,5 | | | | | | | | |
| 0,75 | | | | | | | | |
| 1,0 | | | | | | | | |
| 1,25 | | | | | | | | |

7. Сделать выводы по проделанной работе и записать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия и назначение трансформатора.
2. Какой закон лежит в основе принципа действия трансформатора?
3. Как потери в стали трансформатора ΔP_c зависят от тока нагрузки?
4. Как влияет изменение тока в нагрузке на первичный ток?
5. Как влияет изменение числа витков W_1 на ток холостого хода трансформатора?
6. Приведите примеры условных графических обозначений однофазных и трехфазных трансформаторов на схемах электрических принципиальных.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы. Ознакомление с конструкцией асинхронного двигателя малой мощности и экспериментальное исследование его характеристик в трехфазном и однофазном режимах.

Краткие сведения из теории

Асинхронные двигатели (АД) являются электрическими машинами переменного тока. Основными элементами конструкции АД являются: станина, обмотка статора с магнитопроводом, ротор. По конструкции ротора АД делят на двигатели с короткозамкнутым ротором и АД с фазным ротором. Наиболее широко распространены в различных областях техники, в промышленных и бытовых устройствах АД с короткозамкнутым ротором, которые отличаются простотой конструкции, высокой надежностью, более низкой себестоимостью. Без дополнительных переделок такие двигатели могут работать как в трехфазном режиме, так и в однофазном (конденсаторные или с пусковым сопротивлением).

Работу двигателя характеризуют следующие основные зависимости:

а) рабочие характеристики:

$I_1 = f_1 (P_2)$ – зависимость тока в фазе статорной обмотки I_1 от мощности в нагрузке двигателя P_2 ;

$M = f_2 (P_2)$ – зависимость момента на валу двигателя M от P_2 ;

$\eta = f_3 (P_2)$ – зависимость коэффициента полезного действия η от мощности нагрузки P_2 ;

$\cos \varphi_1 = f_4 (P_2)$ – зависимость коэффициента мощности двигателя от мощности нагрузки P_2 .

б) механические характеристики:

$n = f_5 (M)$ – зависимость числа оборотов вращения вала n двигателя от момента на валу двигателя M ;

$S = f_6 (M)$ – зависимость коэффициента скольжения S от момента M , где

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0} 100\%; \quad n_0 = \frac{60f}{p} [\text{об / мин}];$$

где n_0 – скорость вращения магнитного поля; f – частота сети; p – число пар полюсов АД.

Схема экспериментальной установки

Исследование указанных характеристик АД в трехфазном режиме выполняется по схеме, приведенной на рис. 3.1.

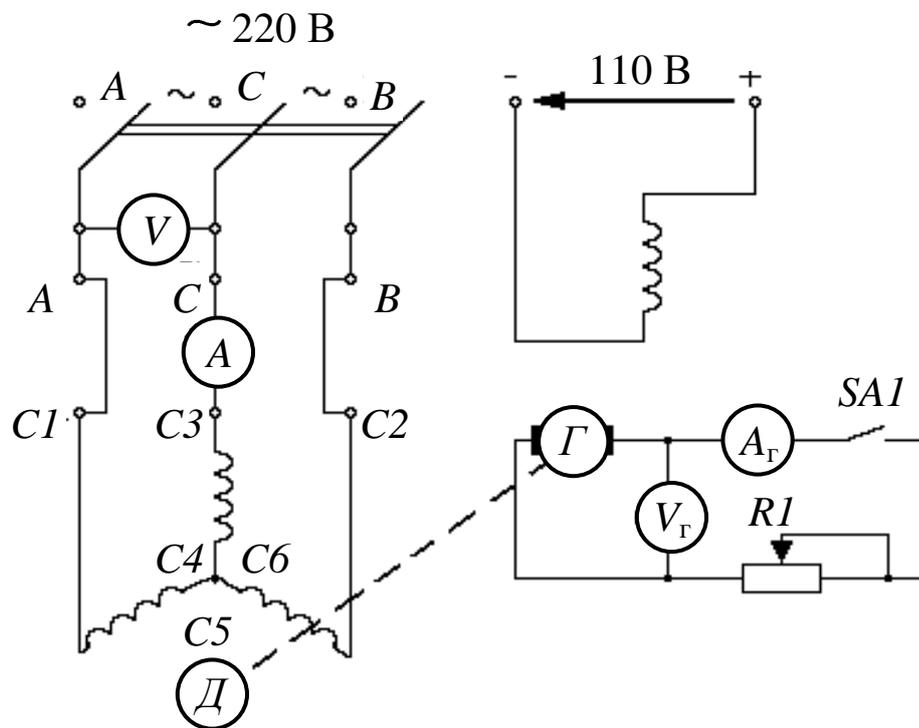


Рис. 3.1 – Схема для исследования АД в трехфазном режиме

Скорость вращения n [об / мин] измеряется электронным тахометром. При этом тумблер переключения тахометра на испытательном стенде должен быть установлен в положение «Асинхронный двигатель».

В качестве нагрузки двигателя использован генератор постоянного тока. Мощность в нагрузке двигателя P_2 можно рассчитать по мощности нагрузки в цепи генератора с учетом потерь в цепи якоря, пренебрегая механическими и дополнительными потерями в генераторе:

$$P_2 = U_{\Gamma} I_{\Gamma} + I_{\Gamma}^2 R_{\Gamma},$$

где U_{Γ} и I_{Γ} – напряжение и ток в нагрузке генератора; R_{Γ} – суммарное сопротивление обмотки якоря и контактного сопротивления щеток коллектора.

Учитывая, что при данных допущениях мощность в нагрузке равна электромеханической мощности, можно рассчитать момент на валу двигателя:

$$P_2 \approx P_{эм} \approx \omega M \text{ [Вт]};$$

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \text{ [с}^{-1} \text{]}; M = \frac{P_2}{1,028 \cdot n} \text{ [кГ} \cdot \text{м]},$$

Однофазный режим исследуется с помощью схемы, представленной на рис. 3.2.

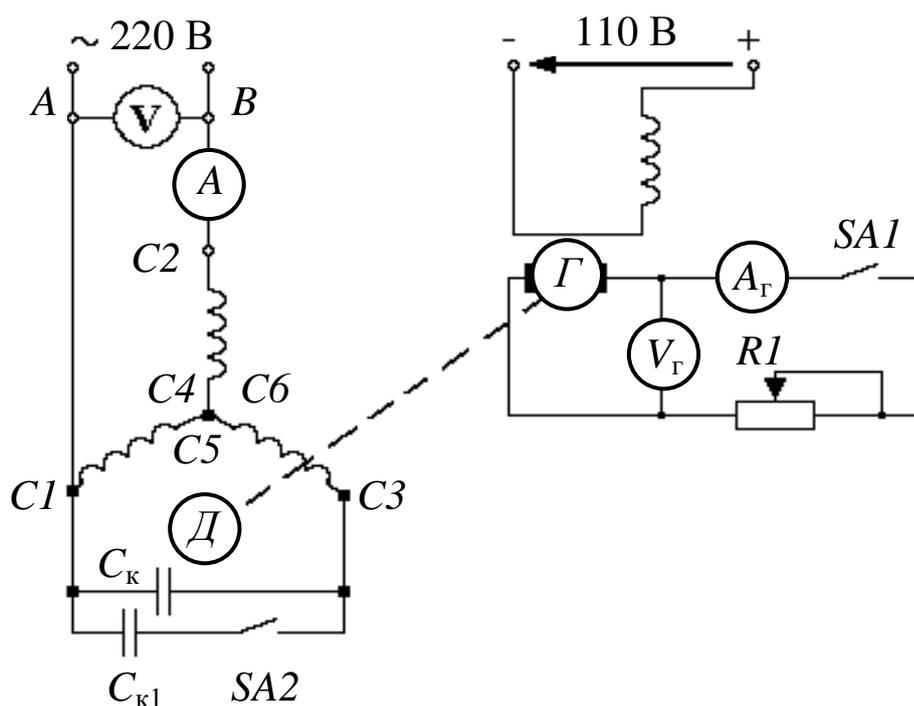


Рис. 3.2 – Схема для исследования АД в однофазном режиме

В однофазном режиме с рабочей емкостью $C_p \approx C_{ном}$ подобрана экспериментально так, чтобы при пуске в режиме холостого хода $n > n_{ном}$.

Если $C_p \neq C_{ном}$ все характеристики двигателя резко ухудшаются.

В лабораторной работе исследуется асинхронный двигатель типа АВЕ – 042 – 4МУЗ с номинальными данными $U_1 = 220$ В, $P_{\text{ном}} = 25$ Вт, $n_{\text{ном}} = 1300$ об/мин, число пар полюсов $p = 2$.

Программа работы

1. Изучить схему экспериментальной установки.

2. Измерить рабочие и механические характеристики двигателя в трехфазном режиме по схеме рис. 3.1. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.1.

Определение P_1 произвести в зависимости от тока нагрузки I_{Γ} и в соответствии с режимом работы АД (трехфазный либо однофазный, $C_p = C_{\text{ном}}$ либо $C_p \neq C_{\text{ном}}$) согласно графикам $P_1 = f(I_{\Gamma})$, представленным на рис. 3.3.

Таблица 3.1

| Режим | № п/п | Опытные данные | | | | | Расчетные данные | | | | | |
|---|----------|----------------|-------|--------------------------------|--------------|--------------|------------------|-------|--------|-----|------|---------------|
| | | U_1 | I_1 | n | I_{Γ} | U_{Γ} | P_1 | P_2 | η | S | M | $\cos\varphi$ |
| | | В | А | $\frac{\text{об}}{\text{мин}}$ | А | В | Вт | Вт | % | % | кГ·м | – |
| Трехфазный | 1 | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | |
| Однофазный $C_p = C_{\text{ном}}$ | 1 | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | |
| Однофазный $C_p \neq C_{\text{ном}}$ | 1 | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | |
| | ... | | | | | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | | | | | |

При расчете мощности потерь в цепи генератора суммарное сопротивление обмотки якоря и контактного сопротивления щеток коллектора R_{Γ} принять согласно табл. 3.2.

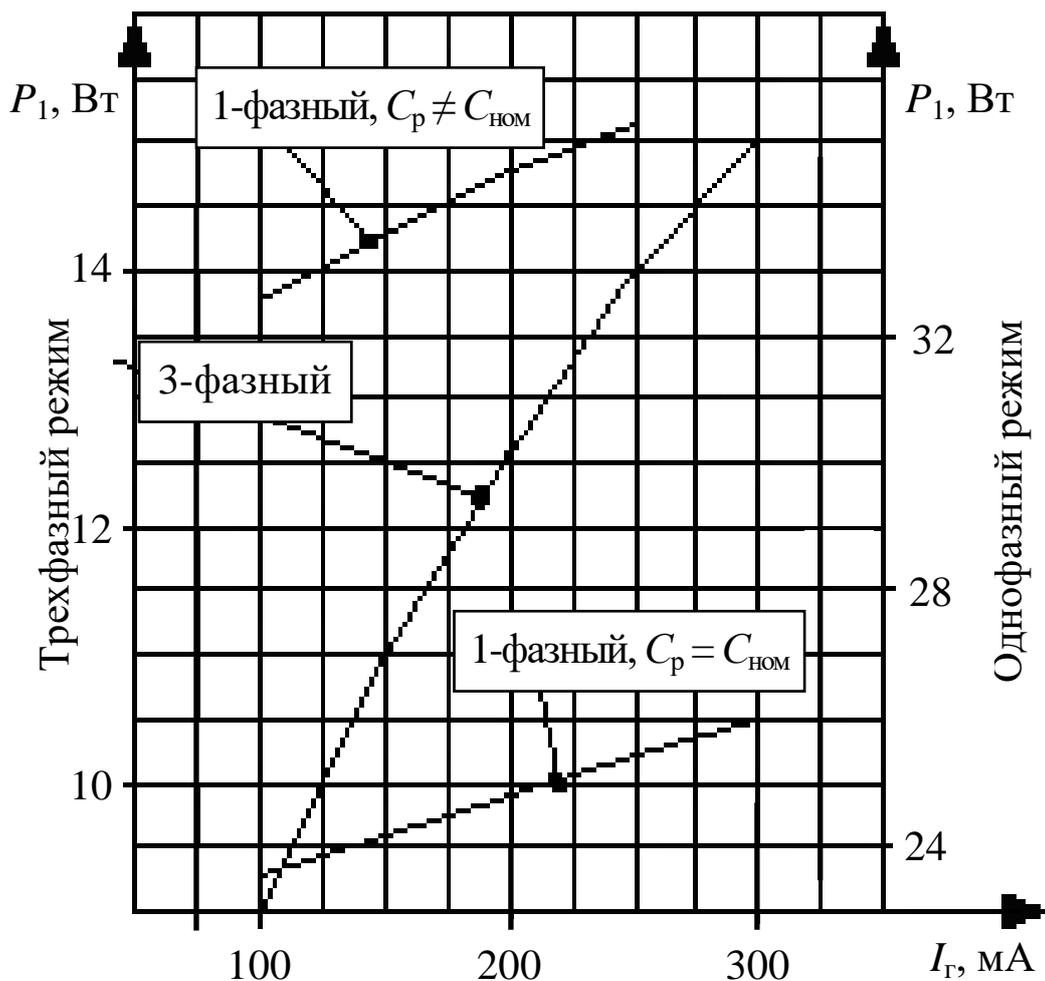


Рис. 3.3 – Зависимость мощности P_1 от тока нагрузки $I_{Г}$

Таблица 3.2

| Номер испытательного стенда | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|------|
| $R_{Г}$, Ом | 73,7 | 74,0 | 69,0 | 82,0 | 75,0 | 129,0 | 174,7 | 83,5 |

3. Измерить рабочие и механические характеристики двигателя для однофазного режима (см. рис. 3.2.) с рабочей емкостью $C_p = C_{ном}$ и при $C_p \neq C_{ном}$ (параллельное включение емкостей $C_{к1}$ и $C_{к}$).

Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 3.1.

4. По данным пунктов 2, 3 построить графики, сгруппировав их следующим образом:

- а) $I_1 = f_1 (P_2)$ и $\eta = f_3 (P_2)$ для всех трех режимов;
 б) $M = f_2 (P_2)$ и $\cos \varphi_1 = f_4 (P_2)$ для всех трех режимов;
 в) $\eta = f_5 (M)$ и $S = f_6 (M)$ для всех трех режимов.

5. Сделать выводы по проделанной работе и записать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия и конструктивное исполнение асинхронного двигателя.

2. Поясните конструкцию фазного и короткозамкнутого роторов асинхронного двигателя.

3. Приведите примеры условных графических обозначений асинхронных двигателей с фазным ротором и короткозамкнутым ротором на схемах электрических принципиальных.

4. Чему равна скорость вращения магнитного поля статора?

5. Что такое скольжение?

6. Приведите график механической характеристики асинхронного двигателя. Укажите на графике точки, соответствующие основным режимам работы двигателя – холостой ход, начало пуска в ход, номинальный режим.

7. Может ли асинхронный двигатель работать при $S = 0$?

8. Как регулируется скорость вращения ротора АД?

9. Какой из способов регулирования скорости АД является наилучшим и почему?

10. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?

11. Перечислите способы увеличения начального пускового момента трехфазного АД.

12. Назовите способы торможения асинхронных двигателей, приведите схемы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы. Изучить принципы управления исполнительными двигателями постоянного тока. Экспериментальное исследование эксплуатационных характеристик двигателя.

Основные теоретические сведения

В системах автоматизированного электропривода применяются исполнительные двигатели постоянного тока (ИДПТ), предназначенные для преобразования электрического сигнала (напряжения управления) в угловую скорость или частоту вращения вала. К исполнительным двигателям предъявляется ряд требований:

- 1) статическая устойчивость и линейность механических характеристик во всем рабочем диапазоне угловых скоростей ω_a ;
- 2) линейная зависимость угловой скорости ротора от электрического сигнала управления α во всем рабочем диапазоне;
- 3) отсутствие самохода;
- 4) быстродействие, характеризуемое значением электромеханической постоянной времени τ_m ;
- 5) малая мощность управления при значительной механической мощности на валу, т.е. высокий коэффициент усиления по мощности;
- 6) большая кратность пускового момента.

Скорость вращения двигателя постоянного тока при отсутствии добавочных сопротивлений в схеме включения определяется выражением:

$$n = \frac{U_{я} - I_{я} R_{я}}{C_E \Phi_B}, \quad (4.1)$$

где $U_{я}$, $I_{я}$, $R_{я}$ – напряжение, ток и сопротивление цепи якоря; C_E – электромеханическая постоянная электрической машины по ЭДС; Φ_B – магнитный поток электрической машины.

Здесь величины C_E и $R_{я}$ являются неизменяемыми параметрами двигателя, $U_{я}$ и Φ_B определяются параметрами питающего напряже-

ния, $I_{\text{я}}$ – механической нагрузкой на валу двигателя. При этом изменение магнитного потока $\Phi_{\text{в}}$ обеспечивается путем изменения тока цепи обмотки возбуждения за счет регулирования питающего напряжения обмотки возбуждения $U_{\text{ОВ}}$.

Изменяющаяся величина питающего напряжения $U_{\text{я}}$ либо $U_{\text{ОВ}}$ называется управляющим воздействием и далее обозначается $U_{\text{у}}$, а неизменяющаяся величина – возбуждающим воздействием и обозначается $U_{\text{в}}$.

Таким образом, анализ выражения (4.1) показывает, что управление ИДПТ осуществляется двумя способами:

1. ИДПТ с якорным управлением:

$$U_{\text{я}} = U_{\text{у}} = \text{var}; U_{\text{ОВ}} = U_{\text{в}} = \text{const};$$

2. ИДПТ с полюсным управлением:

$$U_{\text{ОВ}} = U_{\text{у}} = \text{var}; U_{\text{я}} = U_{\text{в}} = \text{const}.$$

При введении общепринятого коэффициента сигнала $\alpha = \frac{U_{\text{у}}}{U_{\text{в}}}$,

равного отношению управляющего и возбуждающего воздействий по цепи якоря или обмотки возбуждения, соответственно, получим уравнения механических характеристик:

1. Для ИДПТ с якорным управлением

$$n(M) = \frac{U_{\text{в}} \alpha}{C_E \Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{C_E C_M \Phi^2} M,$$

где M – момент двигателя; C_M – электромеханическая постоянная электрической машины по моменту.

2. Для ИДПТ с полюсным управлением

$$n(M) = \frac{U_{\text{у}}}{\alpha C_E \Phi_{\text{у}}} - \frac{R_{\text{я}}}{C_E C_M \Phi_{\text{у}}^2} M,$$

где Φ_y – магнитный поток электрической машины.

Исследование характеристик электропривода с ИДПТ производится по схемам:

рис. 4.2. – для ИДПТ с якорным управлением;

рис. 4.1. – для ИДПТ с полюсным управлением.

На испытательном стенде исследуемым ИДПТ является электрическая машина $UD1$. Нагрузкой ИДПТ является электрическая машина $UD2$, работающая в режиме генератора.

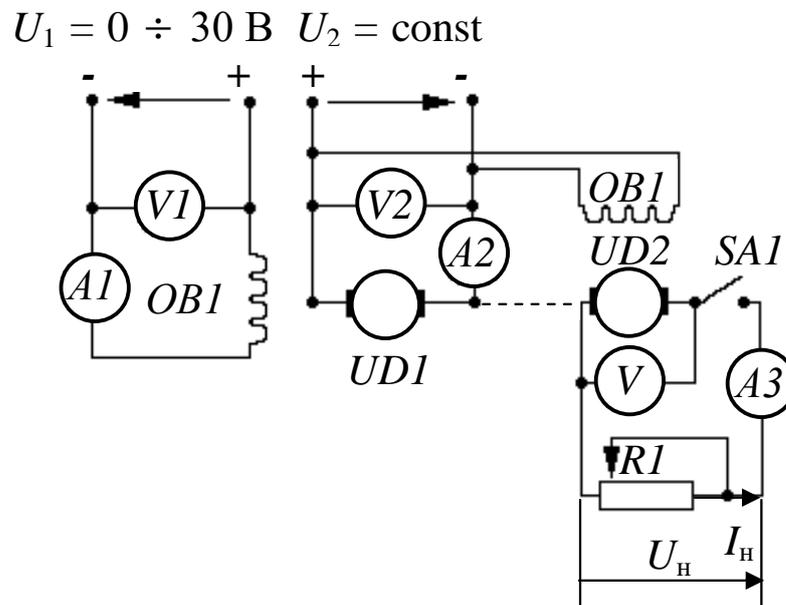


Рис.4.1 – Схема для исследования ИДПТ с якорным управлением

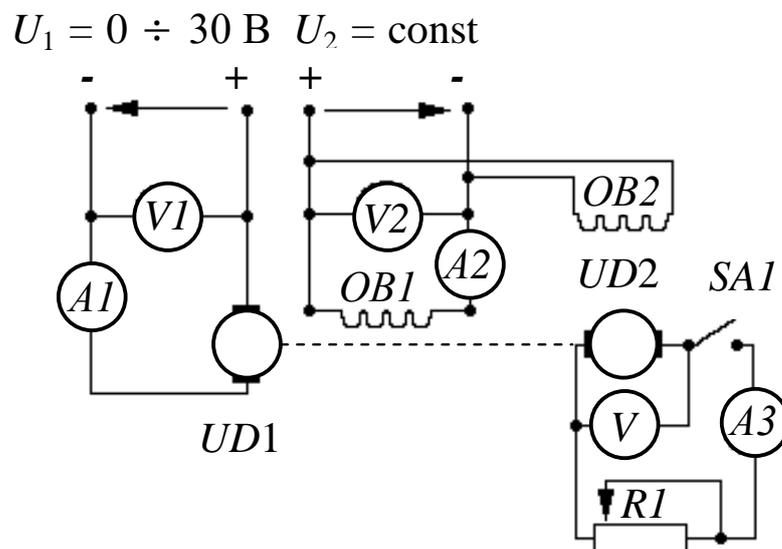


Рис.4.2 – Схема для исследования ИДПТ с полюсным управлением

Величина момента нагрузки на валу ИДПТ определяется по мощности генератора P_2 из выражения:

$$M = \frac{P_2}{1,028 \cdot 10^{-3} \cdot n} [\Gamma \cdot \text{см}].$$

Скорость ИДПТ измеряется электронным тахометром с цифровым выводом информации. При этом тумблер переключения тахометра на испытательном стенде должен быть установлен в положение «Двигатель постоянного тока».

Основными характеристиками ИДПТ являются:

- а) рабочие характеристики: $I_y = f_1(n)$, $I_B = f_2(n)$, $P_y = f_3(n)$, $P_B = f_4(n)$;
- б) регулировочная характеристика $n = f_p(I_y)$;
- в) зависимость мощности управления от коэффициента сигнала $P_y = f_y(\alpha)$.

Характеристики ИДПТ

Рабочие характеристики

Рабочие характеристики представляют собой совокупность зависимостей:

$I_y = f_1(n)$, $I_B = f_2(n)$, $P_y = f_3(n)$, $P_B = f_4(n)$ – все при $M_H \equiv I_H$, где I_H – ток нагрузки;

$$\left. \begin{array}{l} I_y = f_1(n) \\ I_{\hat{a}} = f_2(n) \\ P_y = f_3(n) \\ P_{\hat{a}} = f_4(n) \end{array} \right\} \text{ при } M = \text{var};$$

$n = f_5(M)$ – механическая характеристика;

$\eta = f_6(n)$ – КПД двигателя;

$P_2 = f_7(n)$ при $U_B = \text{const}$; $\alpha = \text{const}$.

Варьирование механической нагрузки ($M = \text{var}$) ИДПТ *UDI* обеспечивается за счет изменения электрической нагрузки *RI* элек-

тромашиного генератора $UD2$. При этом $M \equiv I_H$, где I_H – ток нагрузки.

Мощность в нагрузке двигателя P_2 вычисляется по выражению:

$$P_2 = \frac{U_i I_i i + I_i^2 R_y}{\eta_a},$$

где R_y – сопротивление якоря электромашинного генератора; η_g – КПД генератора.

Для электрических машин, использующихся в испытательном стенде: $R_y = 9$ Ом, $\eta_g = 0,6$.

Первичная мощность

$$P_1 = P_y + P_B = U_y I_y + U_B I_B.$$

Тогда КПД ИДПТ

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Необходимо помнить, что при полюсном управлении цепью возбуждения является якорная цепь машины.

Регулировочная характеристика

Регулировочная характеристика – это зависимость

$$n = f_p(U_y) \text{ при } U_B = \text{const}; M = \text{const}.$$

Учитывая тот факт, что $U_y \equiv \Phi$, а $n = \frac{U_B - I_B R_{я}}{C_E \Phi}$, можно сделать

вывод о резко выраженной нелинейности регулировочной характеристики при полюсном управлении. Особого внимания требуют исследования данной зависимости в области малых значений α (опасности разноса).

Очевидно, изменяя фиксированные значения момента нагрузки, можно измерить семейство регулировочных характеристик.

Зависимость мощности управления P_y от коэффициента сигнала α

Мощность цепи управления P_y составляет от единиц до десятков процентов от номинальной мощности двигателя. Снизить P_y можно, уменьшая коэффициент сигнала α , но при этом падает механическая мощность. Поэтому в случаях, где важно снизить P_y , используется полюсное управление, при котором, в сравнении с якорным управлением, ожидается уменьшение мощности P_y , т.к. сопротивление полюсной цепи существенно больше цепи якоря.

Зависимость $P_y = f_y(\alpha) = f_2(U_y)$ исследуется при $n = \text{const}$. Условие постоянства скорости обеспечивается подбором тормозящего момента.

Программа работы

1. Ознакомиться с принципом полюсного управления исполнительным двигателем постоянного тока, лабораторным макетом и настоящим описанием. Собрать схему рис.4.1. Ключ S_1 – разомкнут.

2. Произвести измерение рабочих характеристик двигателя при полюсном управлении для двух значений коэффициента сигнала:

а) $\alpha = 1,0$;

б) $\alpha = 0,5$.

Перед измерением рабочих характеристик убедиться, что ток в цепи ОВ1 при $\alpha = 1,0$ и $\alpha = 0,5$ не зависит от момента нагрузки M . Определить значение $I_{ОВ1}$.

Результаты измерений свести в таблицу 4.1 и представить в виде графиков.

Графики сгруппировать следующим образом:

1) $I_y = f_1(n)$, $I_B = f_2(n)$, $P_y = f_3(n)$, $P_B = f_4(n)$;

2) $\eta = f_6(n)$; $P_2 = f_7(n)$;

3) $n = f(M)$.

Таблица 4.1

| | | Экспериментальные данные | | | | | Расчетные данные | | | | | | | |
|-------|----------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------|------------------|------------|------------|-----------|-----------|------------|------------|--------|
| № п/п | α | U_y , В | I_y , А | U_B , В | I_B , А | n , об/мин | P_y , Вт | P_B , Вт | P_1 , Вт | U_H , В | I_H , А | P_2 , Вт | M , г·см | η |
| 1 | 1,0 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,5 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | | | | |

3. Произвести измерение регулировочной характеристики

$$n = f_p(U_y) \text{ при } U_B = 20 \text{ В} = \text{const}; M = \text{const}$$

для $U_y \geq 6 \text{ В}$ и двух значений моментов:

1) $M = 0$;

2) $M = 0,5 M_{\text{доп}}$ ($I_H = 0,3 \div 0,4 \text{ А}$).

Результаты измерений свести в таблицу 4.2 и представить в виде графиков.

Таблица 4.2

| U_B , В | I_H , А | M , г·см | | № п/п | | | |
|-----------|-----------|------------|--------------|-------|---|-------|---|
| | | | | 1 | 2 | | 7 |
| | | | U_y , В | | | | |
| | | | n , об/мин | | | | |
| | | | U_y , В | | | | |
| | | | n , об/мин | | | | |

4. Произвести измерение зависимости мощности управления P_y от коэффициента сигнала α для заданной скорости вращения n при следующих параметрах напряжений и скорости:

$$U_B = 20 \text{ В}, U_y > 12 \text{ В},$$

$$n = (4000 \div 5000) \text{ об/мин по выбору или заданию.}$$

Результаты измерений свести в таблицу 4.3 и представить в виде графиков.

Таблица 4.3

| № п/п | $U_{в},$ В | $n,$ об/мин | $U_{у},$ В | α | $I_{у},$ А | $P_{у},$ Вт |
|----------|---------------|----------------|---------------|----------|---------------|----------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| ... | | | | | | |
| 7 | | | | | | |

5. Аналогичную программу работ по пунктам 2 – 4 выполнить для исполнительного двигателя с якорным управлением, используя схему включения рис. 4.2.

6. Сделать выводы по работе и записать ответы на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Поясните принцип действия и конструктивное исполнение ДПТ.

2. Приведите примеры условных графических обозначений ДПТ на схемах электрических принципиальных.

3. Приведите график механической характеристики двигателя постоянного тока. Укажите на графике точки, соответствующие основным режимам работы двигателя – холостой ход, начало пуска в ход, номинальный режим.

4. Как регулируется скорость вращения ротора ДПТ?

5. Какой из способов регулирования скорости ДПТ является наилучшим и почему?

6. Как изменить направление вращения ДПТ?

7. Назовите способы торможения ДПТ, приведите схемы.

8. Как исключить разнос двигателя при снятии сигнала управления?

9. Чем обусловлено падение КПД двигателя в области больших нагрузок?

3. Постоянна ли жесткость механических характеристик исследованного двигателя при полюсном управлении?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ ОДНОФАЗНОГО ТОКА И СГЛАЖИВАЮЩИХ ФИЛЬТРОВ

Цель работы. Изучить работу простейших неуправляемых выпрямителей однофазного напряжения. Экспериментальная проверка теоретических положений. Рассмотрение влияния сглаживающих фильтров на основные характеристики.

Основные теоретические сведения

Выпрямитель – одна из составных частей вторичных источников питания, предназначенная для преобразования переменного напряжения в постоянное напряжение. Характер нагрузки существенно влияет на выбор схемы построения выпрямителя и его элементов: трансформатора, вентилей, сглаживающего фильтра.

К эксплуатационным характеристикам выпрямителя относятся средние значения выпрямленного напряжения и тока U_0 , I_0 , внешняя характеристика, КПД, коэффициент мощности, коэффициент пульсаций.

В простейших маломощных выпрямителях применяется однополупериодная схема с одним вентилем. Она имеет недостатки: большой уровень пульсаций, низкую эффективность использования трансформатора, присутствие подмагничивающей составляющей.

Для устранения этих недостатков используется двухтактная схема (Миткевича) со средней точкой, т.е. добавлена еще одна идентичная выходная обмотка, которая подключается к нагрузке во вторую часть периода.

На рисунке 5.1 представлена схема выпрямителя со средней точкой и с резистивной нагрузкой, а также временные характеристики токов и напряжений на элементах схемы.

В первую часть периода ток протекает по одной вторичной обмотке трансформатора и через диод $VD1$, а во вторую часть – по другой вторичной обмотке и через диод $VD2$. Кривая тока нагрузки изображена на рис. 5.1, в. Среднее выпрямленное напряжение нагрузки можно определить как постоянную составляющую ряда Фурье:

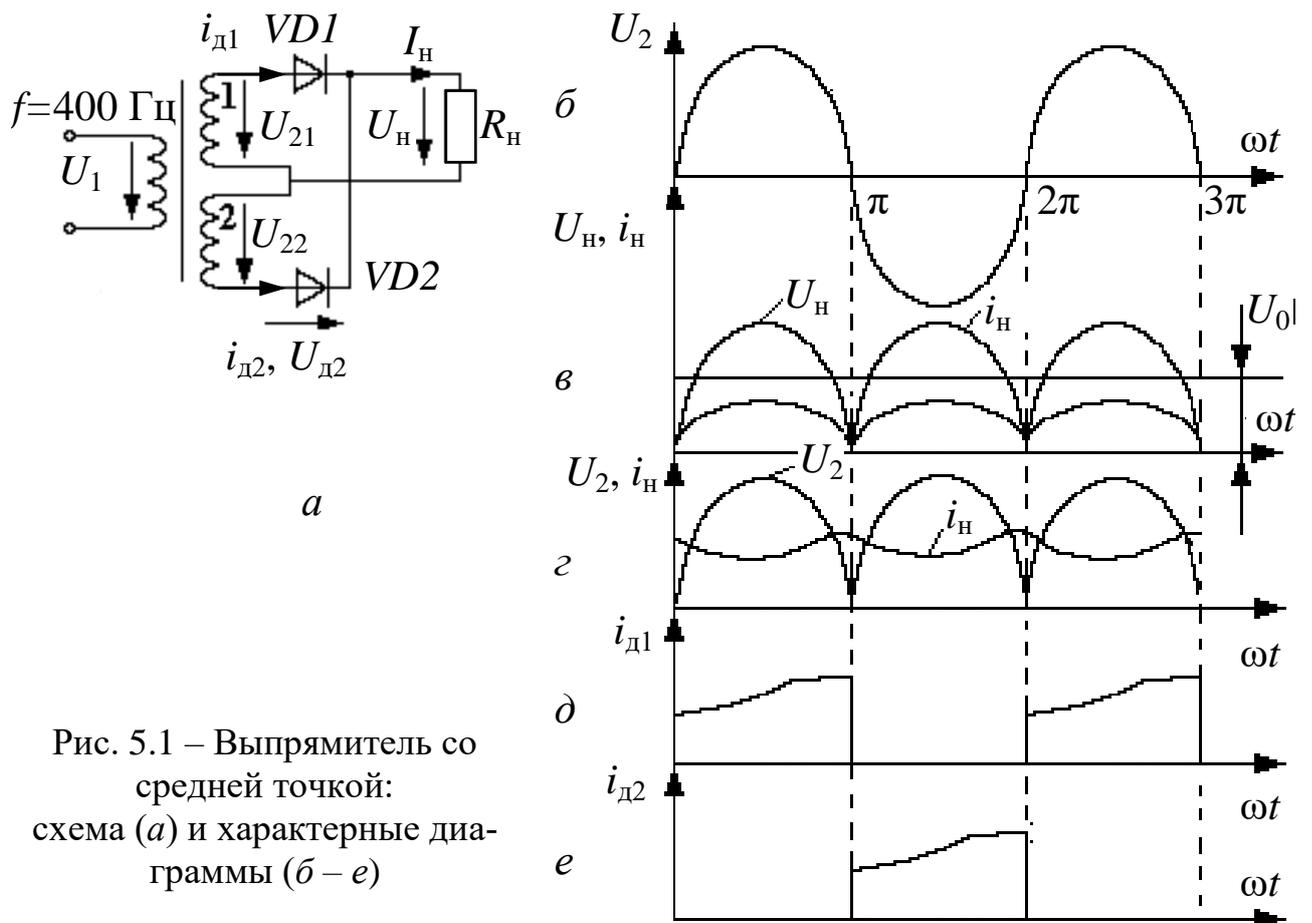


Рис. 5.1 – Выпрямитель со средней точкой: схема (а) и характерные диаграммы (б – е)

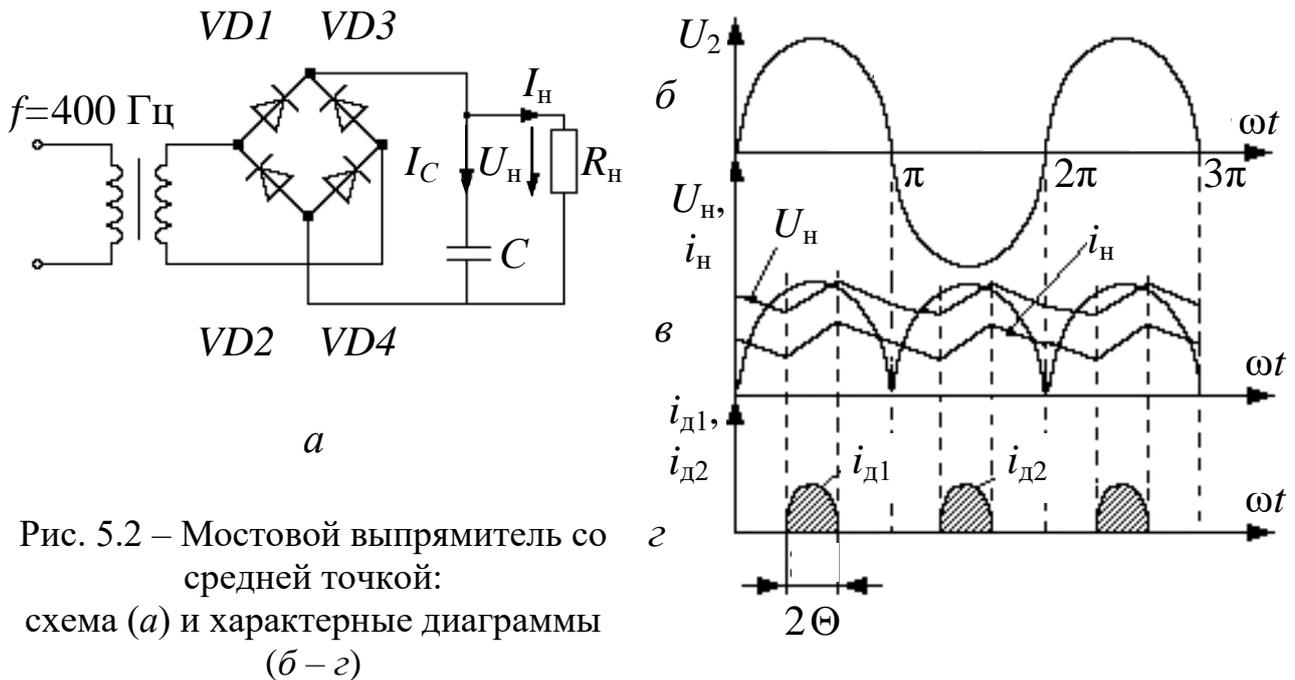
$$U_0 = (1/T) \int_0^T U_H(t) dt = (2\sqrt{2}/\pi)U_2 = 0,9U_2,$$

где U_2 – действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора.

Для сглаживания пульсаций тока нагрузки можно применять последовательное включение индуктивности L . В этом случае кривая тока будет запаздывать относительно кривой напряжения (рис. 5.1, з). На диаграммах (рис. 5.1, д, е) представлены кривые токов через вентили.

В случае нагрузки с малым током, предпочтительно использовать для сглаживания пульсаций емкость C , установленную параллельно нагрузке. На рис. 5.2 (б, в, г) представлены временные диаграммы токов и напряжений для этого случая.

Пульсации выпрямленного напряжения зависят от схемы и сглаживающего фильтра. Из диаграммы на рис. 5.1, б видно, что периодическая функция выходного напряжения u_H имеет период в два раза



меньше чем входное напряжение, поэтому первая гармоника выпрямленного напряжения имеет удвоенную частоту. Переменные составляющие приводят к бесполезной трате энергии. Для снижения их доли используют сглаживающие фильтры. Простейшие варианты их рассмотрены ранее. Для повышения качества выпрямления применяются более сложные схемы, например Г- и П-образные.

Отношение амплитуды первой гармоники к среднему значению выпрямленного напряжения U_0 называется коэффициентом пульсации q . Этот параметр можно определить по входу q_1 и выходу q_2 фильтра. Отношение коэффициентов пульсации на входе и на выходе называется коэффициентом сглаживания фильтра:

$$S = q_1 / q_2.$$

Для параллельного фильтра (С) имеем: $q_1 = q_2$. Тогда в расчете принимают q_2 , а для последовательного (L), П- или Г-образного фильтра удобнее принимать S. Тогда по заданному q_2 можно найти:

$$C = \frac{1}{2^{q_2}} (1/R_n)$$

А при индуктивном фильтре исходным будет выражение:

$$S = \frac{\sqrt{R_1^2 + (2\omega L)^2}}{R_1} \approx \frac{2\omega L}{R_1}, \text{ т.к. } 2\omega L \gg R_1.$$

Отсюда можно найти:

$$L = (SR_H) / 2\omega \approx R_H / (3q_2\omega).$$

При очень малых q_2 значения L или C могут получаться несоизмеримо большими. Тогда целесообразно применить Г– или П–образный фильтр. Для Г–образного фильтра типа LC можно получить:

$$LC = S / (4\omega^2).$$

Расчет более сложных фильтров можно провести перемножением частичных коэффициентов сглаживания отдельных звеньев фильтра:

$$S = S_1 S_2 S_3 \dots$$

Внешняя характеристика представляет собой зависимость среднего значения выходного напряжения от среднего значения выпрямленного тока $U_0(I_0)$. Из-за активного сопротивления обмоток трансформатора потерь вентилей внешняя характеристика имеет падающий характер (сравните с ВАХ источника ЭДС с $R_{вн} \neq 0$). Схожие характеристики и выкладки можно провести и для мостовой схемы выпрямителя (схема Греча).

Программа работы

В работе исследуются три схемы выпрямления:

- простейшая однополупериодная;
- двухполупериодная с нулевой точкой;
- двухполупериодная мостовая.

Исследования проводятся с фильтром и без него.

Вместо трансформатора с нулевой точкой T используется два регулируемых источника переменного напряжения $U_1 = 0 \div 30$ В, $U_2 = 0 \div 30$ В частоты $f = 400$ Гц. Для питающего напряжения частотой

400 Гц рекомендуются следующие параметры элементов фильтра: $C = 200$ мкФ, $L = 85$ мГн. Для снятия временных диаграмм используется осциллограф, среднее значение выпрямленных значений напряжений и токов измеряются приборами постоянного тока. В качестве нагрузки применяется магазин сопротивлений испытательного стенда (см. рис. 1.3).

Исследование выпрямителей и фильтров осуществляется по следующей программе.

1. Задать амплитуду напряжений обоих источников переменного напряжения равными $28 \div 30$ В.

2. Собрать схему для исследования выпрямителя с нулевой точкой, изображенную на рис. 5.3.

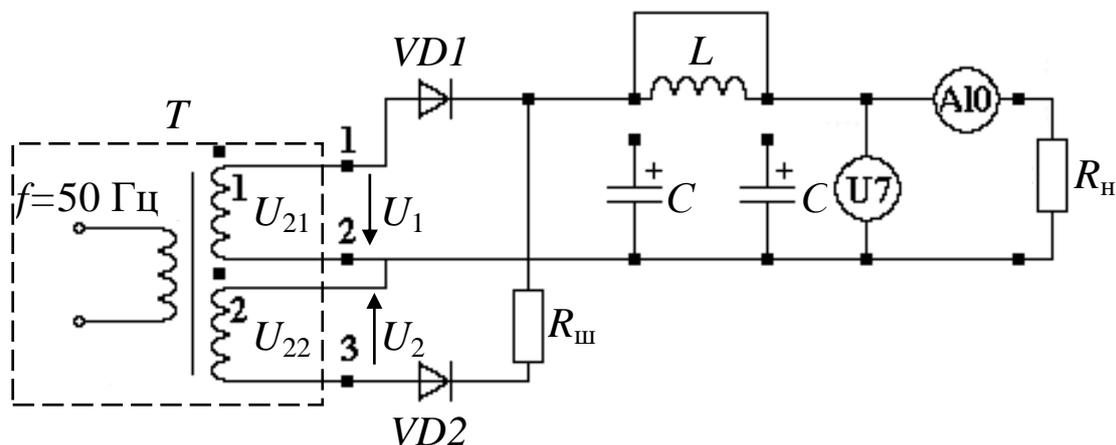


Рис. 5.3 – Схема для исследования выпрямителя с нулевой точкой

С помощью осциллографа пронаблюдать кривую тока на нагрузке R_n (включить любой тумблер в магазине сопротивлений) и по ней проверить правильность подключения обмоток. При необходимости поменять полярность одной из обмоток.

Зарисовать осциллограмму выходного напряжения для резистивной нагрузки. Зафиксировать амплитудное значение напряжения на нагрузке.

Зарисовать осциллограмму напряжения на диоде, зафиксировать амплитудное значение напряжения на диоде.

3. Снять внешнюю характеристику выпрямителя без фильтрующих элементов, заполнить строку в табл. 5.1, при этом сопротивление нагрузки изменять от ∞ до 43 Ом путем постепенного добавления числа включенных резисторов в магазине сопротивлений.

4. Исследование выпрямителей с емкостным и индуктивным фильтрами.

4.1. Собрать схему для исследования выпрямителя с емкостным сглаживающим фильтром.

Зарисовать осциллограмму напряжения на нагрузке. Зафиксировать минимальное и максимальное значения напряжения.

Зарисовать осциллограмму напряжения на диоде, зафиксировать амплитудное значение напряжения на диоде.

Снять осциллограмму тока диода на шунте $R_{ш}$, зафиксировать амплитудное значение тока.

Зарисовать осциллограммы тока нагрузки для C -фильтра при большом и малом сопротивлениях нагрузки. Кривая тока снимается с резистора нагрузки.

4.2. Собрать схему для исследования выпрямителя с индуктивным сглаживающим фильтром. Повторить вышперечисленные в п. 4 этапы исследования.

Сделать выводы о целесообразности применении фильтра L или C в зависимости от величины $R_{н}$.

Рассчитать постоянные времени для выбранных оптимальных элементов и сравнить с периодом напряжения на $R_{н}$.

5. С помощью осциллографа пронаблюдать действие более сложных фильтров, выполнив п. 4.1 для Γ -образного и Π -образного фильтров. Сделать вывод.

6. Снять внешние характеристики для случаев, помеченных в табл. 5.1.

Здесь для организации однополупериодного режима отсоединить обмотку. Построить в одних осях все внешние характеристики.

7. Исследовать мостовую схему выпрямления.

Амплитуду выходного напряжения обмотки, так же как и ранее, установить равной $28 \div 30$ В. Снять осциллограммы напряжений на

нагрузке и диоде. Сравнить с аналогичными кривыми схемы с нулевой точкой. Сделать вывод.

Таблица 5.1

| Тип схемы | | R_H | | | | | | |
|----------------------|-----------|----------|---------|--|--|--|--|-------|
| | | ∞ | 1,7 кОм | | | | | 43 Ом |
| Без фильтра | $U_H, В$ | | | | | | | |
| | $I_H, мА$ | | | | | | | |
| С емкостью C | $U_H, В$ | | | | | | | |
| | $I_H, мА$ | | | | | | | |
| С индуктивностью L | $U_H, В$ | | | | | | | |
| | $I_H, мА$ | | | | | | | |
| Г–образный | $U_H, В$ | | | | | | | |
| | $I_H, мА$ | | | | | | | |
| П–образный | $U_H, В$ | | | | | | | |
| | $I_H, мА$ | | | | | | | |
| Однупериодный с C | $U_H, В$ | | | | | | | |
| | $I_H, мА$ | | | | | | | |

Контрольные вопросы

1. Что такое вентиль? Приведите условные графические обозначения неуправляемых и управляемых полупроводниковых вентиляей.
2. Приведите схемы основных однофазных и трехфазных выпрямителей.
3. Приведите схемы сглаживающих фильтров.
4. В какой схеме выпрямления трансформатор используется более эффективно?
5. В какой схеме выпрямления жестче требования к вентилям?
6. Поясните временные диаграммы для R_H .
7. Покажите на осциллограмме угол отсечки.
8. Почему кривая тока через диод при фильтре, начинающемся с индуктивности, близка к прямоугольным импульсам?
9. Почему внешняя характеристика при наличии фильтра более крутая?
10. Что такое коэффициент пульсаций?
11. Что такое коэффициент сглаживания?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ КОМПЕНСАЦИОННОГО ТИПА

Цель работы. Экспериментальное освоение принципов работы стабилизаторов напряжения компенсационного типа, устройств электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Исследуются два стабилизатора напряжения, один из которых собран на дискретных элементах (транзисторах), а другой – на специальной микросхеме КР142ЕН1.

Основные теоретические сведения

Радиотехнические устройства и комплексы предъявляют весьма высокие требования к источникам вторичного электропитания т.к. последние в значительной степени определяют качество работы этих устройств.

Наиболее частым является требование стабильности либо питающего напряжения, либо тока. Основными параметрами (кроме энергетических) рассматриваемых устройств являются:

1. Коэффициент стабилизации, исчисляемый отношением относительного изменения входного напряжения к относительному изменению выходного, при неизменной нагрузке.

$$K_{\text{ст}} = \frac{\frac{\Delta U_{\text{вх}}}{U_{\text{вх}}}}{\frac{\Delta U_{\text{вых}}}{U_{\text{вых}}}} \text{ при } R_{\text{н}} = \text{const.} \quad (6.1)$$

Иногда используется понятие абсолютного коэффициента стабилизации:

$$K_{\text{ст. абс.}} = \frac{\Delta U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}}} \text{ при } R_{\text{н}} = \text{const.} \quad (6.2)$$

Этим коэффициентом оценивают сглаживающие свойства стабилизатора (по аналогии с фильтром).

2. Выходное сопротивление, характеризующее стабилизирующие свойства при изменении нагрузки стабилизатора, но при постоянстве входного напряжения:

$$R_{\text{ВЫХ}} = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta I_{\text{Н}}} \text{ при } U_{\text{ВХ}} = \text{const.} \quad (6.3)$$

Величина $R_{\text{ВЫХ}}$ должна быть, возможно, меньшей, особенно в динамическом режиме (при быстром изменении параметров нагрузки), где возможны резкие колебания выходного напряжения.

3. Дрейф выходного напряжения, возникающий вследствие старения элементов и температурного изменения их параметров при постоянстве нагрузки и напряжения на входе.

4. КПД, равный отношению мощностей на выходе и входе стабилизатора при номинальной мощности в нагрузке.

5. Диапазон допустимых изменений напряжений (входного и выходного) и токов стабилизатора

$$U_{\text{ВХ max}} \div U_{\text{ВХ min}}, U_{\text{ВЫХ max}} \div U_{\text{ВЫХ min}}, I_{\text{Н max}} \div I_{\text{Н}}, \quad (6.4)$$

при которых коэффициент стабилизации не выходит за пределы заданного значения.

Различают две основные группы стабилизаторов напряжения: параметрические и компенсационные. Компенсационные стабилизаторы напряжения могут быть непрерывными и импульсными.

Свойством параметрической стабилизации напряжения обладает смещенный в обратном направлении $p-n$ переход в области зенеровского пробоя. Полупроводниковые приборы, использующие эти свойства – стабилитроны, применяются как для создания источников опорных напряжений (обязательный элемент любой схемы стабилизации) напряжения так и непосредственно для цепей стабилизации.

Простейшие схемы параметрических стабилизаторов напряжения приведены на рис. 6.1 и не требуют специальных пояснений.

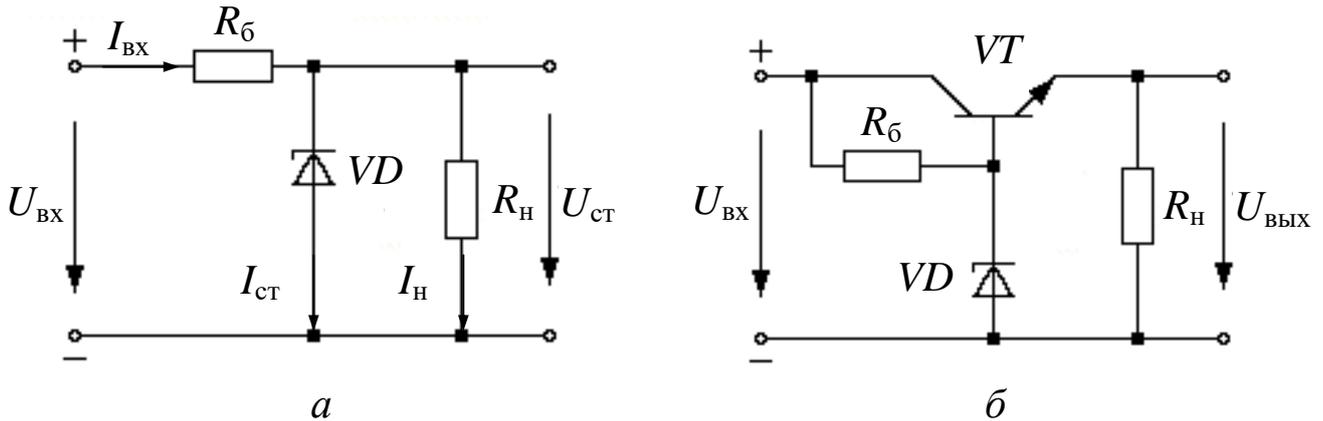


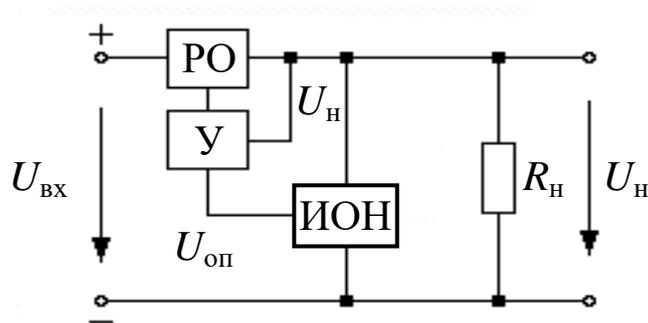
Рис. 6.1 – Параметрические стабилизаторы постоянного напряжения

Главным достоинством параметрических стабилизаторов является простота схемных решений, а главным недостатком - малая нагрузочная способность и низкий КПД. В схеме (рис. 6.1, б) нагрузочная способность схемы повышена в β раз за счет применения транзистора, который в данном случае выполняет функцию усилителя тока, здесь β – коэффициент усиления по току транзистора.

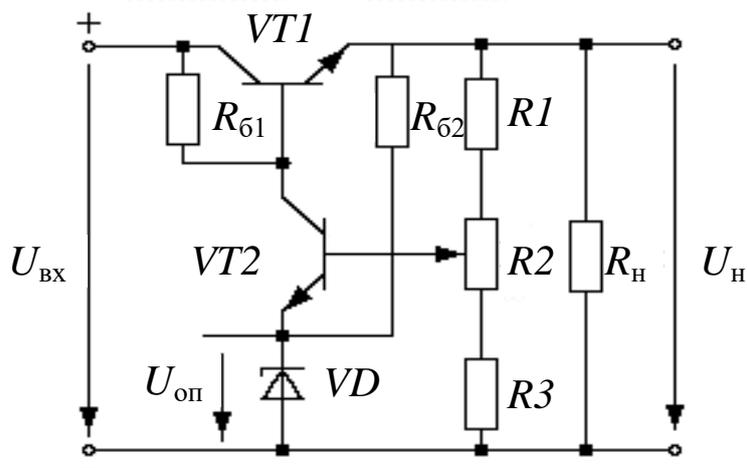
Коэффициенты стабилизации параметрических стабилизаторов напряжения обычно не превышают 50.

Компенсационные стабилизаторы напряжения представляют собой автоматические регуляторы, в которых выходное напряжение измеряется и сравнивается с некоторым эталонным (опорным) напряжением. Разностный сигнал после усиления воздействует на регулирующий орган схемы так, чтобы устранять появляющуюся разность. При этом неважно за счет чего появилась эта разность: за счет нестабильности входного напряжения или изменения потребления энергии. Структурные схемы стабилизаторов напряжения последовательного типа (регулирующий орган включен последовательно с нагрузкой) приведены на рис 6.2, а–в.

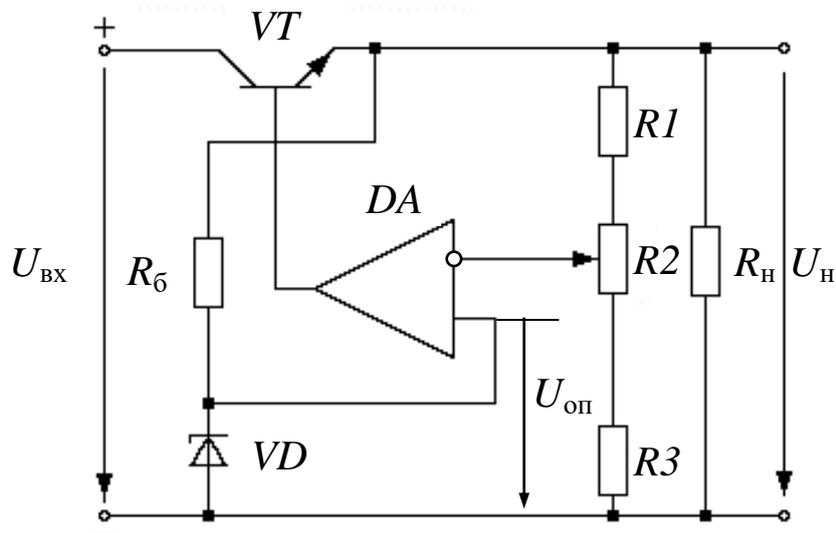
Регулирующий орган (РО) в схеме (рис. 6.2, а) играет роль балластного сопротивления, величина которого изменяется под действием разности напряжений нагрузки и источника опорного напряжения (ИОН). Положительная разность ($U_H - U_{оп}$) приводит к увеличению сопротивления РО, отрицательная – к уменьшению. Последовательное включение внешней нагрузки и РО приводит к перераспределению входного напряжения между ними так, что напряжение на нагрузке остается неизменным.



a



б



в

Рис. 6.2 – Схемы стабилизаторов напряжения компенсационного типа

В схеме (рис. 6.2, б) роль регулирующего органа выполняет транзистор $VT1$. Разностный сигнал (напряжение U_{63} транзистора $VT2$) при увеличении U_H становится положительным, потенциал кол-

лектора транзистора $VT2$ падает, уменьшая $U_{бэ}$ транзистора $VT1$, возрастающее вследствие этого сопротивление последнего восстанавливает прежнее напряжение на нагрузке. В этой схеме выходное напряжение можно менять плавно с помощью резистора $R2$ и дискретно величиной $U_{оп}$ (заменой стабилитрона). Вместо усилителя тока на транзисторе $VT2$ можно использовать операционный усилитель, как показано на рис. 6.2, в.

В настоящее время широко используются стабилизаторы напряжения в интегральном исполнении – это микросхемы серий 142ЕН, К142, КР142ЕН. Они выпускаются как с фиксированным выходным напряжением, так и с регулируемым; с одним или несколькими выходами; с двуполярным выходом; с защитой от перегрузки по току и т. д. На рис. 6.3, 6.4 приведены схемы лабораторного макета исследуемых стабилизаторов: на рис. 6.3 – стабилизатор компенсационного типа на транзисторах, а на рис. 6.4 – на микросхеме КР142ЕН1.

На рис. 6.5 приведена структура микросхемы КР142ЕН1.

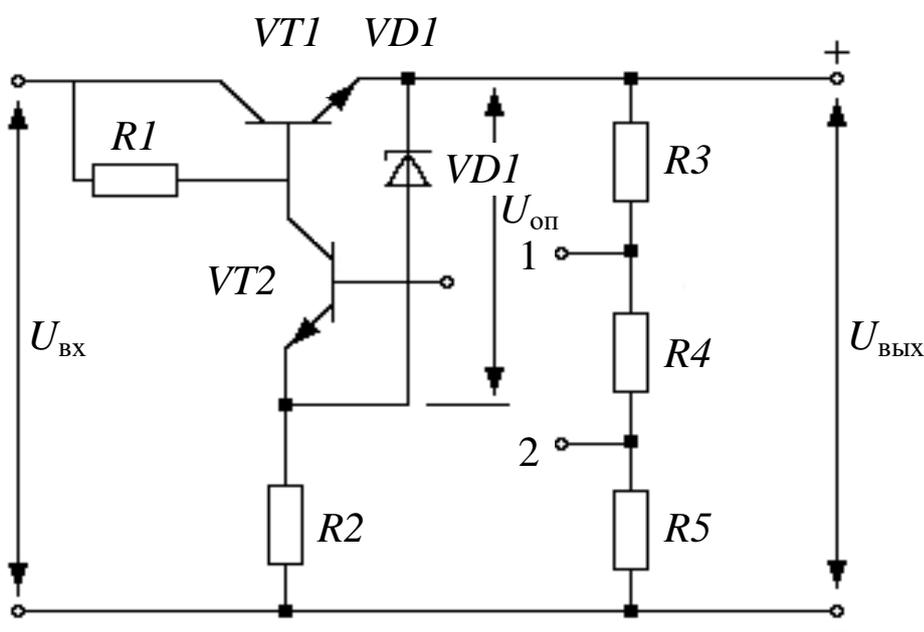


Рис. 6.3 – Стабилизатор напряжения компенсационного типа на транзисторах

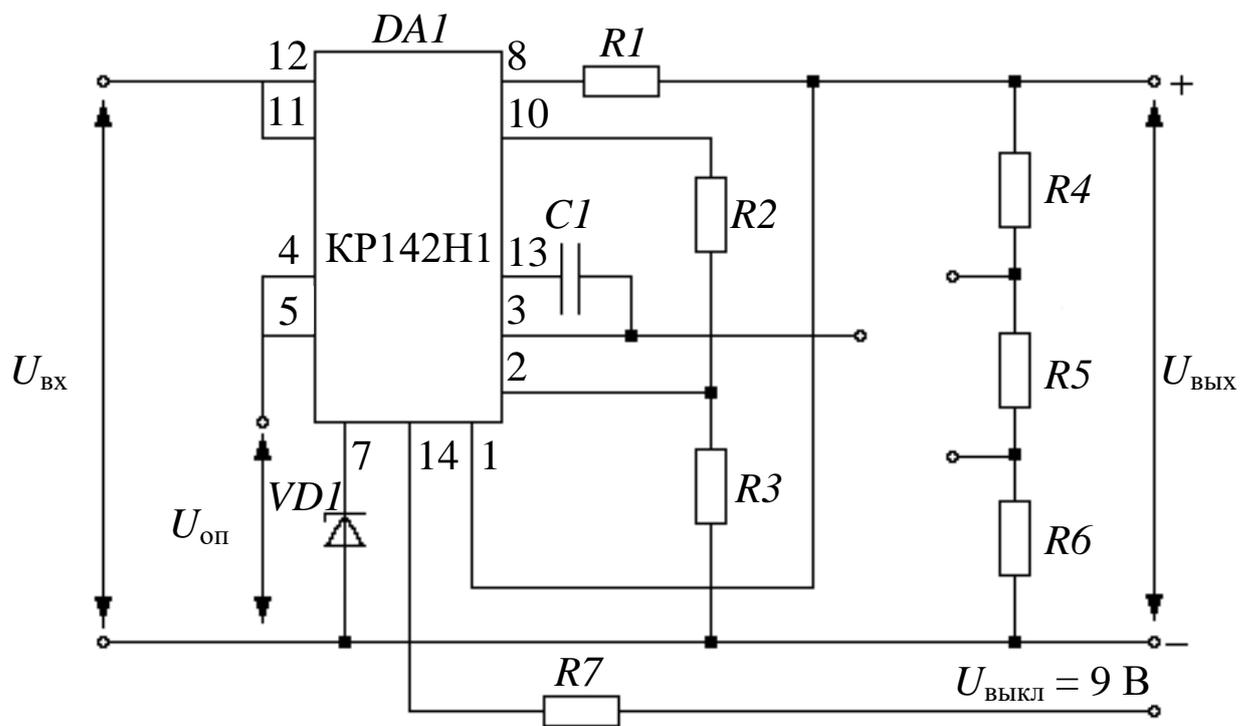


Рис. 6.4 – Стабилизатор напряжения компенсационного типа на микросхеме КР142ЕН1

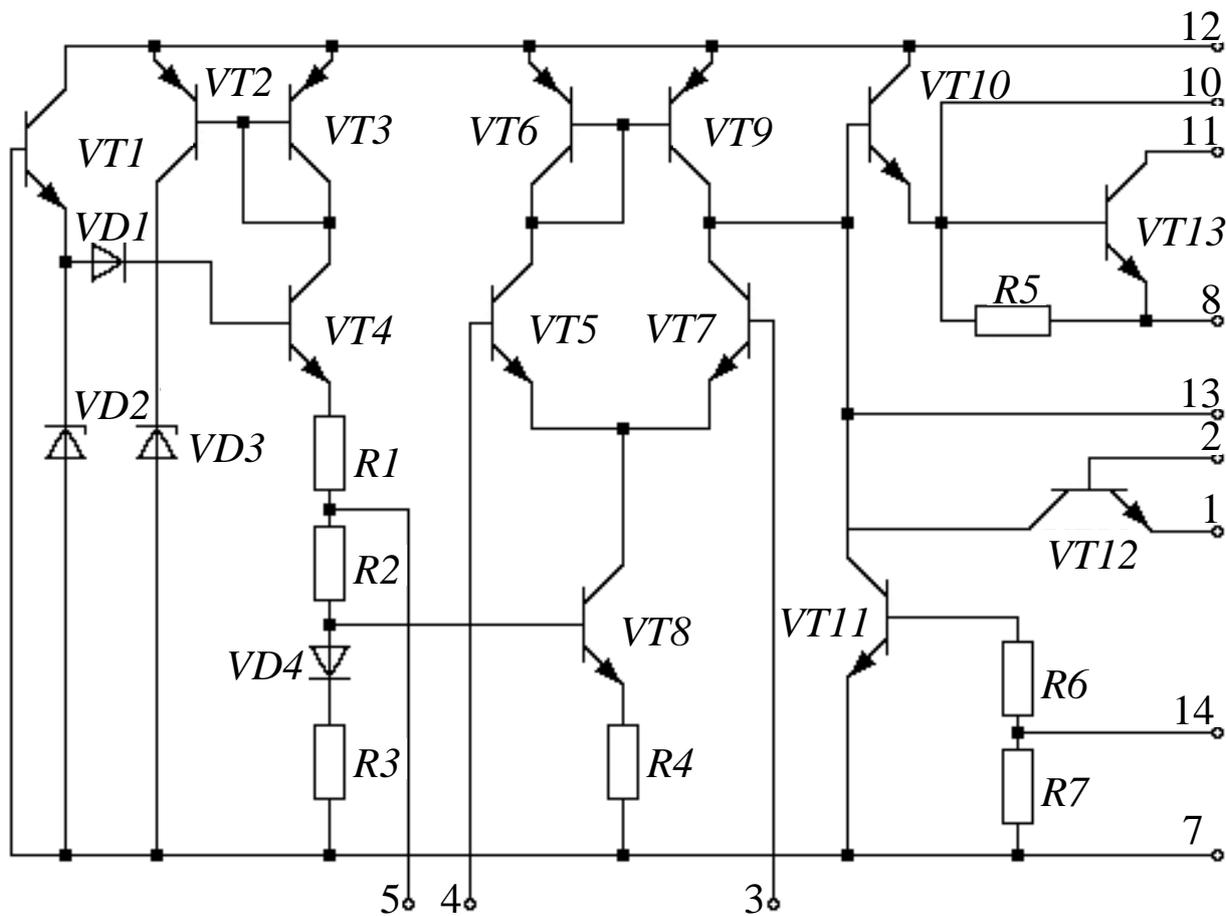


Рис. 6.5 – Микросхема КР142ЕН1

Программа работы

1. Собрать макет стабилизатора компенсационного типа по схеме рис. 6.3.

В качестве источника питания $U_{\text{ВХ}}$ использовать источник постоянного напряжения с изменяемым напряжением выхода

$$U_{\text{ВЫХ}} = 0 \div 30 \text{ В}, I_{\text{ВЫХ}} = 0,5 \text{ А.}$$

В качестве нагрузки использовать переменный резистор $R1$ макета лабораторной работы № 1 и резистор сопротивлением 750 Ом блока нагрузок (см. рис. 1.3).

2. Произвести измерение зависимости $U_{\text{ВЫХ}} = f(U_{\text{ВХ}})$:

а) в режиме холостого хода: для двух положений измерительного делителя напряжения.

б) в режиме номинальной нагрузки ($R_{\text{Н}} = 750 \text{ Ом}$) для двух положений измерительного делителя напряжения.

Данные измерений свести в таблицу и построить соответствующие графики.

3. По результатам измерений определить:

а) диапазоны изменения входного и выходного напряжений;

б) абсолютные и относительные коэффициенты стабилизации;

в) КПД (определяется при номинальной нагрузке в середине диапазона стабилизации).

4. Установить $U_{\text{ВХ}}$, соответствующее середине диапазона стабилизации и произвести измерение зависимости $U_{\text{ВЫХ}} = f(I_{\text{Н}})$ для двух положений измерительного делителя напряжения. В качестве переменного $R_{\text{Н}}$ использовать переменный резистор $R1$ макета лабораторной работы № 1. Данные измерений свести в таблицу и представить графиками.

Примечание: изменение тока нагрузки производить вплоть до срабатывания схемы защиты, ток срабатывания защиты зафиксировать. Восстановление работоспособности схемы производится либо отключением источника питания, либо уменьшением нагрузки.

5. По результатам измерений определить:

- а) диапазон изменения выходного тока;
- б) выходное сопротивление стабилизатора.

6. Собрать схему рис. 6.4 и провести исследования, предусмотренные пунктами 2, 3, 4, 5.

7. Сделать выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Приведите классификацию стабилизаторов.
2. Объяснить причины повышения нагрузочной способности параметрического стабилизатора по схеме рис. 6.1, б.
3. Какое влияние на параметры компенсационного стабилизатора оказывает делитель напряжения, с которого снимается сигнал, пропорциональный $U_{\text{вых}}$ стабилизатора?
4. Как повлияет на параметры стабилизатора компенсационного типа нестабильность источника опорного напряжения?
5. Чем определяется выходное сопротивление стабилизатора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СХЕМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ

Цель работы. Изучение на практике электромагнитных процессов, протекающих в схемах преобразователей; ознакомление с реальными параметрами их импульсных сигналов; исследование особенностей внешних характеристик источников вторичного электропитания на базе автоколебательных и управляемых внешним сигналом преобразователей.

Основные теоретические сведения

Во всем многообразии схем преобразователей одноконтурных, двухконтурных, автоколебательных и с внешним управлением, мостовых, полумостовых и т. д. основным элементом является усилитель на транзисторе.

Усилитель на транзисторе может иметь положительную обратную связь, тогда это автоколебательное устройство (блокинг-генератор) или управляться внешним сигналом. В этом случае усилитель на трансформаторе работает в ключевом режиме, т. е. коммутирует определенным образом трансформатор и источник первичного электропитания. На рис. 7.1 приведены схемы такого усилителя на транзисторе.

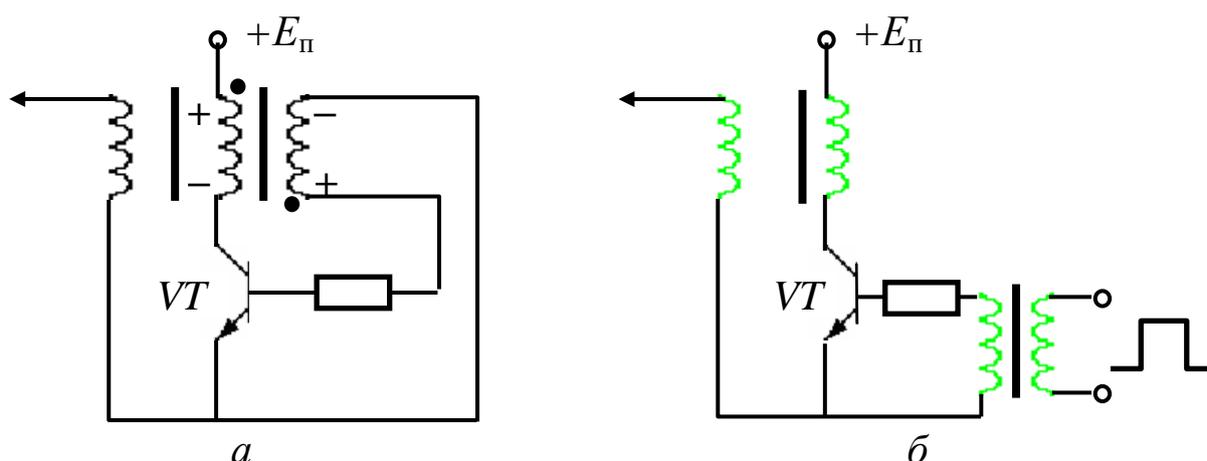


Рис. 7.1 – Усилитель на транзисторе
а – блокинг-генератор; б – усилитель с внешним управлением

В схеме усилителя рис. 7.1, а для появления генерации необходимо выполнение условий:

$$K_{\text{y}} K_{\text{тр}} > 1; \varphi_{\text{y}} + \varphi_{\text{тр}} = 2\pi, \quad (7.1)$$

где K_{y} – коэффициент усиления усилителя на транзисторе; $K_{\text{тр}}$ – коэффициент трансформации трансформатора; φ_{y} – фазовый сдвиг, создаваемый усилителем; $\varphi_{\text{тр}}$ – фазовый сдвиг сигнала трансформатора.

Транзистор в обеих схемах работает в ключевом режиме, с той лишь разницей, что в схеме рис. 7.1, а транзистор переключается благодаря положительной обратной связи. Рассмотрим несколько подробней процессы в этой схеме.

После включения питания $E_{\text{п}}$ появляется некоторый ток, пока еще закрытого транзистора $I_{\text{кэ0}}$. Это приводит к появлению напряжения на коллекторной и базовых обмотках, причем на последней сигнал подается плюсом на базу (рассматривается транзистор *n-p-n*-проводимости), что приводит к лавинообразному отпиранию транзистора. С этого момента почти все напряжение питания прикладывается к коллекторной обмотке трансформатора и начинается его переманчивание. При этом в соответствии с законом электромагнитной индукции:

$$E_{\text{п}} - U_{\text{кэ0}} = W_{\text{к}} S_{\text{с}} \frac{dB}{dt}, \quad (7.2)$$

где: $U_{\text{кэ0}}$ – напряжение между коллектором и эмиттером насыщенного транзистора; $W_{\text{к}}$ – число витков коллекторной обмотки; $S_{\text{с}}$ – площадь поперечного сечения сердечника трансформатора.

Проинтегрируем уравнение (7.2):

$$\int_0^{t_{\text{и}}} (E_{\text{п}} - U_{\text{кэ0}}) dt = W_{\text{к}} S_{\text{с}} \int_{B_0}^{B_m} dB,$$

где $t_{\text{и}}$ – длительность импульса генератора (время открытого состояния транзистора); B_0 , B_m – значения индукции в начале и конце импульса (рис. 7.2).

Поскольку в схеме могут протекать токи только одной полярности, переманчивание сердечника трансформатора происходит по частному не симметричному циклу (см. рис. 7.2).

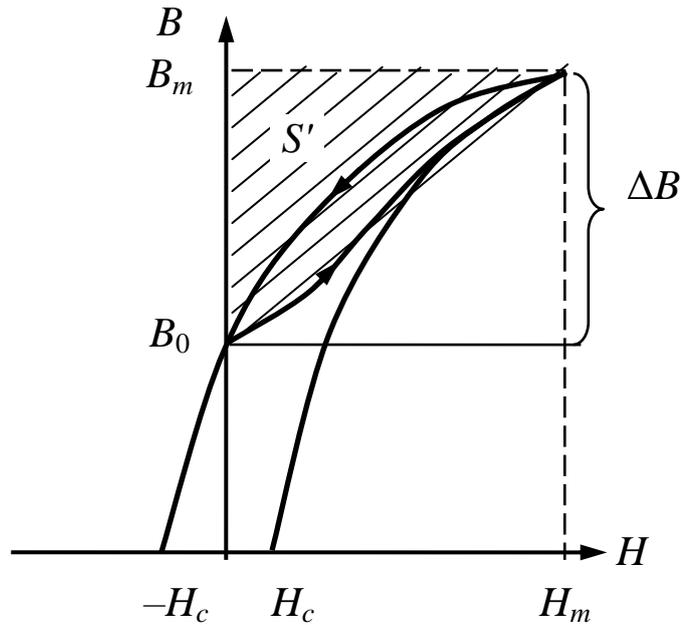


Рис. 7.2 – Частный цикл перемагничивания сердечника трансформатора

В результате интегрирования получим:

$$(E_{\text{н}} - U_{\text{кэ0}})t_{\text{н}} = W_{\text{к}} S_{\text{с}} \Delta B. \quad (7.3)$$

По мере намагничивания трансформатора растет ток намагничивания – ток коллектора транзистора. Его максимальное значение при холостом ходе:

$$I_{\text{км}} = \frac{H_{\text{м}} L_{\text{с}}}{W_{\text{к}}},$$

где $L_{\text{с}}$ – длина средней силовой линии сердечника трансформатора (длина пути магнитного потока).

Одновременно будет увеличиваться напряжение на сопротивлении меди обмотки коллектора, что приведет к уменьшению напряжения на обмотке базы и к уменьшению тока базы. Произойдет лавинообразное запирающее транзистора. Диаграмма напряжения на базовой обмотке, сопряженной с характеристикой входа (база-эмиттер) транзистора, приведена на рис. 7.3.

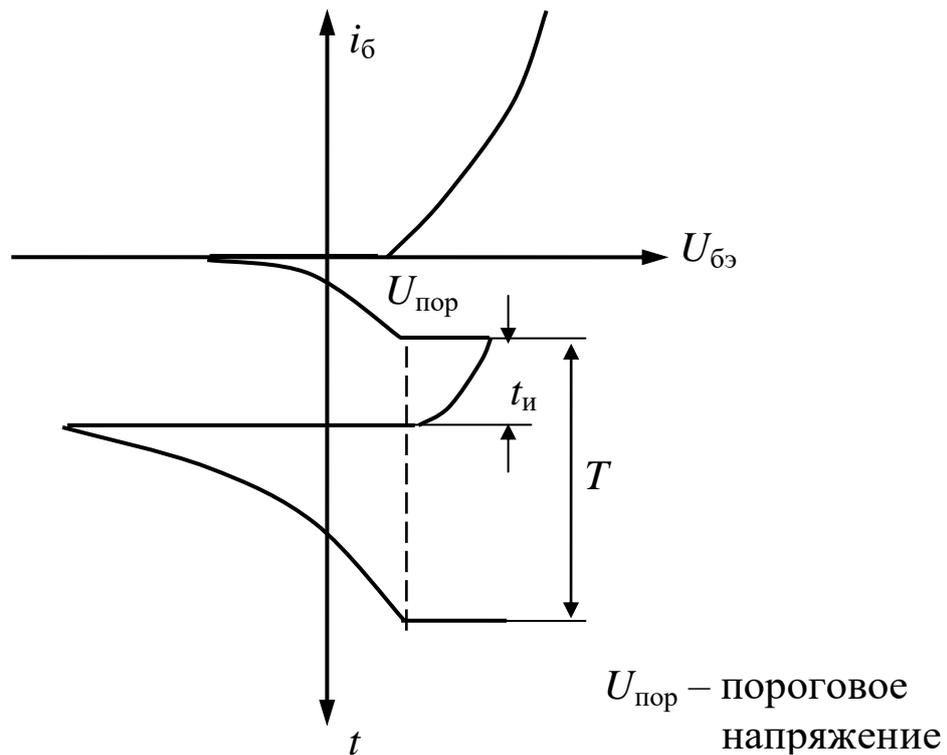


Рис. 7.3 – Диаграмма напряжения на базовой обмотке транзистора

Начиная с этого момента происходит стадия восстановления схемы. Энергия Q , накопленная трансформатором, начинает рассеиваться на элементах схемы. Данная энергия равна

$$Q = S' V_c,$$

где V_c – объем ферромагнитного материала сердечника, м^3 ; S' – площадь, заштрихованная на рис. 7.2 при условии, что размерности индукции $[\text{В}] = \text{Тл}$, а напряженности $[\text{Н}] = \text{А/м}$.

Время восстановления схемы T равно пяти постоянным времени τ :

$$T = 5\tau,$$

где

$$\tau = \frac{\alpha}{R};$$

$$\alpha \cong \frac{W_k^2 (B_m - B_2)}{H_m L_c};$$

R – эквивалентное сопротивление рассеяния энергии; H_m – напряженность магнитного поля, соответствующая B_m .

Рассмотренная схема является одноконтурной. Можно взять два таких усилителя и соединить в одно так, чтобы в то время, когда в одной половине происходил процесс восстановления, в другой происходила генерация импульса и наоборот. Схема, реализующая такой принцип, приведена на рис. 7.4. Это преобразователь Ройера, он является основой большинства схем источников вторичного электропитания.

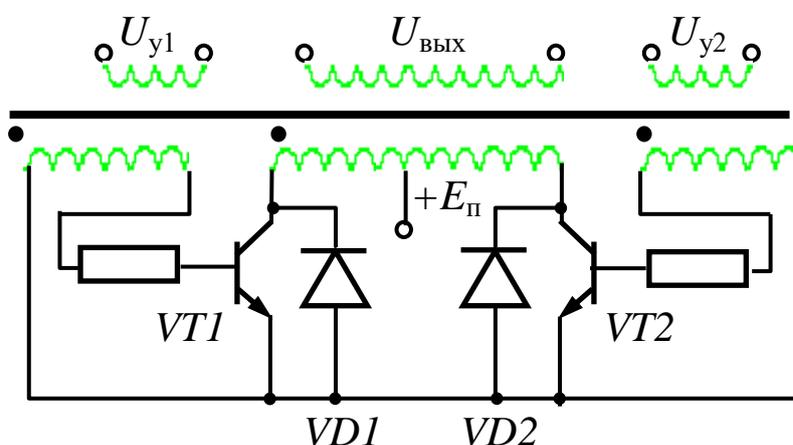


Рис. 7.4 – Преобразователь Ройера

Если в такой схеме убрать обмотки обратной связи, а вместо них использовать напряжение управления с другого каскада (обмотки U_{y1} и U_{y2} рис. 7.4) можно построить преобразователь с внешним возбуждением или управлением. При этом для надежности запираания транзисторов в такой схеме необходимо предусмотреть отрицательную обратную связь по току эмиттера.

В такой схеме сердечник трансформатора перемагничивается по симметричному циклу и соотношение (7.3) требует корректировки.

На рис. 7.5 приведены диаграммы цикла перемагничивания трансформатора, выходного напряжения преобразователя и тока коллектора намагничивания для схемы преобразователя Ройера.

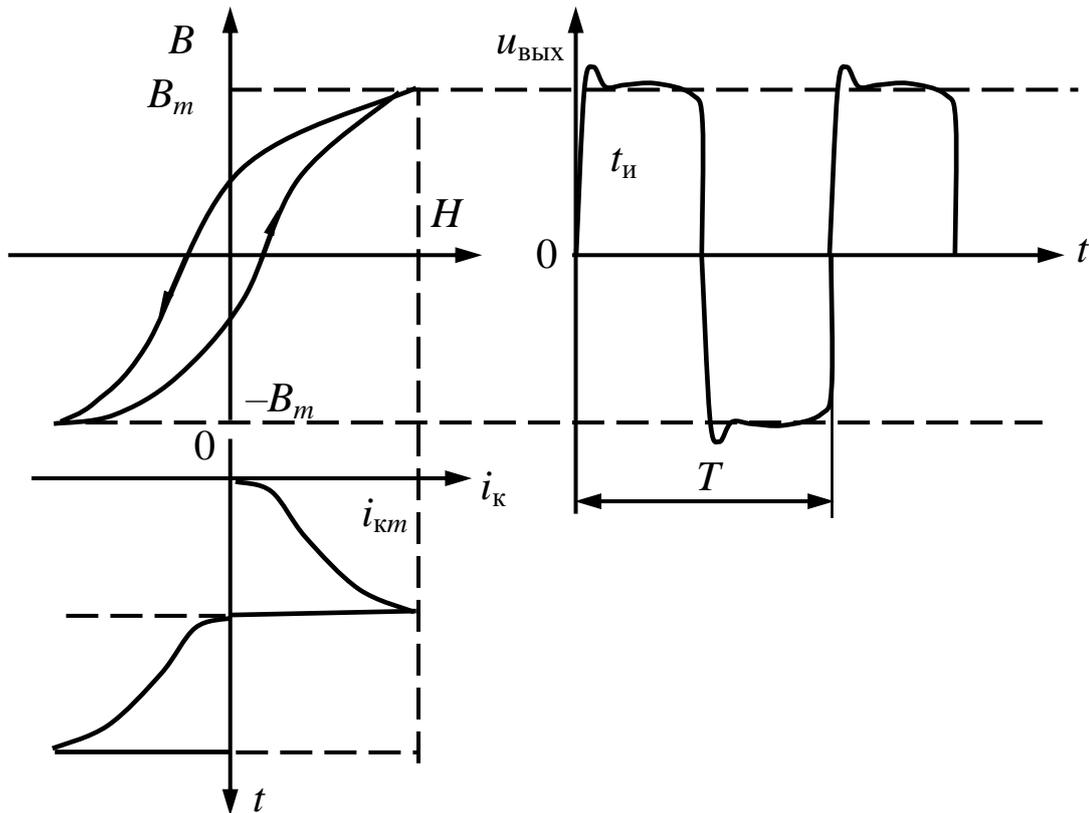


Рис. 7.5 – Диаграммы электромагнитных величин для цикла перемагничивания в двухтактном преобразователе Ройера

Теперь под действием напряжения $(E_{\Pi} - U_{кэ0})$ сердечник может перемагничиваться на величину $2B_m$, а при интегрировании уравнения (7.2) получим:

$$(E_{\Pi} - U_{кэ0}) t_{и} = W_{к} S_{с} 2 B_m . \quad (7.4)$$

Программа работы

1. Собрать схему (рис. 7.1, а), отключив в схеме рис. 7.4 базовую и коллекторную обмотки одного из плеч. Зарисовать сфазированно друг под другом осциллограммы:

- а) напряжения на коллекторе транзистора;
- б) напряжения на базе транзистора;
- в) напряжения на выходной обмотке.

2. Измерить с помощью осциллографа частоту, амплитуду и длительность генерируемых импульсов.

3. Рассчитать измерение амплитуды ΔV для $E_{\Pi} = 20$ Вт, если $W_k = 100$; $S = 54 \text{ мм}^2$.

4. Проследить зависимость частоты генерируемых импульсов от величины напряжения питания, для чего измерения (пункт 2) провести дважды при $E_{\Pi} = 10$ Вт и $E_{\Pi} = 20$ Вт. Сделать выводы.

5. Собрать схему (рис. 7.4) и вновь зарисовать осциллограммы, перечисленные в пункте 1, и напряжения на выходе преобразователя.

6. Измерить внешнюю характеристику устройства $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{н}})$, нагружая преобразователь до срыва генерации.

7. Пронаблюдать зависимость частоты генерации от напряжения питания.

8. Собрать схему преобразователя с внешним управлением, для чего исследованную ранее схему использовать как задающее генератор фиксированной частоты ($E_{\Pi} = \text{const}$), а его дополнительные обмотки соединить (тумблером) с базовыми цепями аналогичной схемы, но без обратной связи.

9. Проследить зависит ли частота выходного напряжения устройства от напряжения питания (напряжение питания задающего генератора остается неизменным). Объяснить появление «полочек» в кривой выходного напряжения.

10. Измерить внешнюю характеристику преобразователя с внешним управлением.

Контрольные вопросы

1. Чем определяется частота выходного напряжения преобразователя с внешним управлением и с самовозбуждением?

2. Поясните форму напряжения на базе транзистора в схемах преобразователя напряжения.

3. Поясните форму тока коллектора транзистора в схемах преобразователя напряжения.

4. Поясните форму выходного напряжения преобразователя напряжения.

5. Приведите пример функциональной схемы источника вторичного электропитания с преобразователем напряжения.

6. Чем обусловлены преимущества источников вторичного электропитания со звеном повышенной частоты?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 ИССЛЕДОВАНИЕ СЕЛЬСИНОВ

Цель работы. Изучить конструкцию сельсинов, принцип работы в различных режимах. Экспериментально исследовать их характеристики.

Основные теоретические сведения

Сельсинами называют индукционные электрические машины, обладающие способностью самосинхронизации и применяемые в системах дистанционной передачи угла в качестве датчиков и приемников, между которыми устанавливается электрическая линия связи.

Сельсины работают в двух основных режимах:

– индикаторном, когда датчик поворачивается принудительно, а приемник устанавливается в согласованное с датчиком положение по возникающему синхронизирующему моменту;

– трансформаторном, когда датчик поворачивается принудительно, а в приемнике вырабатывается напряжение, пропорциональное углу рассогласования, которое после усиления подается на исполнительное устройство для отработки этого угла рассогласования.

С целью получения самосинхронизации сельсины выполняются как двухполюсные электрические машины. Они имеют трехфазную синхронизирующую обмотку $C_1 C_2 C_3$ на статоре и однофазную обмотку возбуждения $B_1 B_2$ на роторе. Электрическая схема приведена на рис. 8.1.

По исполнению сельсины делятся на контактные и бесконтактные. В бесконтактном сельсине контактный подвод тока к ротору заменен бесконтактным подводом магнитного потока. Устранение трущегося контакта снижает нагрузку на валу приемника, что повышает точность синхронизации, повышается и надежность работы сельсинов. Однако преодоление воздушного дополнительного зазора

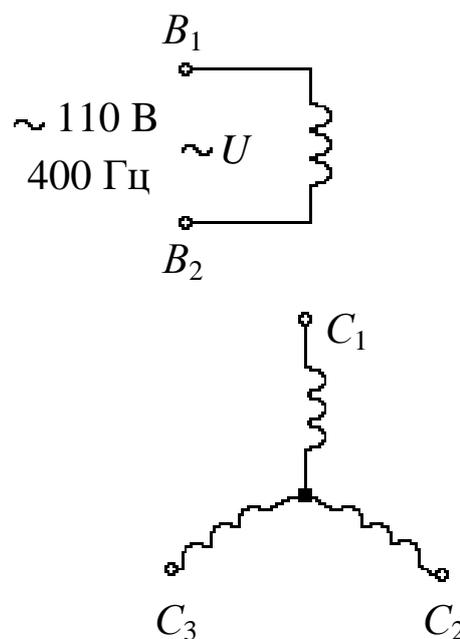


Рис. 8.1 – Электрическая схема сельсина

2. Значения максимального момента M_{\max} и удельного синхронизирующего момента

$$m = \left. \frac{\partial M}{\partial \theta} \right|_{\theta=0}.$$

3. Максимальный момент статической ошибки в режиме синхронной передачи (у сельсинов высшего класса точности $\theta_{\text{ост}}$ превышает $\pm 0,5^\circ$, у сельсинов низшего класса $\theta_{\text{ост}}$ достигает $\pm 1,5^\circ$).

Погрешность, вызванная собственным моментом трения на валу $M_{\text{т}}$, является основной и характеризует зону нечувствительности приемника

$$B = \frac{M_{\text{т}}}{m}.$$

Чем больше синхронизирующий момент, тем уже зона нечувствительности.

4. Время согласования τ датчика и приемника после начального рассогласования на $\theta = 180^\circ$.

Наличие механической инерции приводит к колебаниям ротора относительно устойчивого состояния. Для электромагнитного демпфирования колебаний используется короткозамкнутая демпферная обмотка, уложенная в роторе перпендикулярно обмотке возбуждения. Используется и механические инерционно-фрикционные демпферы, помещенные на вал ротора.

Работа сельсинов в трансформаторном режиме исследуется по схеме, показанной на рис. 8.3.

Поток возбуждения $\Phi_{\text{в}}$ датчика наводит ЭДС в синхронизирующих обмотках статора датчика. За счет протекания токов в линии связи синхронизирующие обмотки приемника создают магнитный поток приемника $\Phi_{\text{п}} = k_1 \Phi_{\text{в}}$, который сдвинут относительно одноименных обмоток на тот же угол $\alpha_{\text{д}}$, что и в датчике. В выходной обмотке приемника потоком $\Phi_{\text{у}} = \Phi_{\text{п}}(\alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{д}})$ наводится выходное напряжение, которое через электронный усилитель (ЭУ) поступает на двигатель, поворачивающий ротор приемника, пока $\Phi_{\text{п}}$ не займет перпендикулярного положения к выходной обмотке, т.е. $\theta = \alpha_{\text{п}} - \alpha_{\text{д}} = 90^\circ$ и

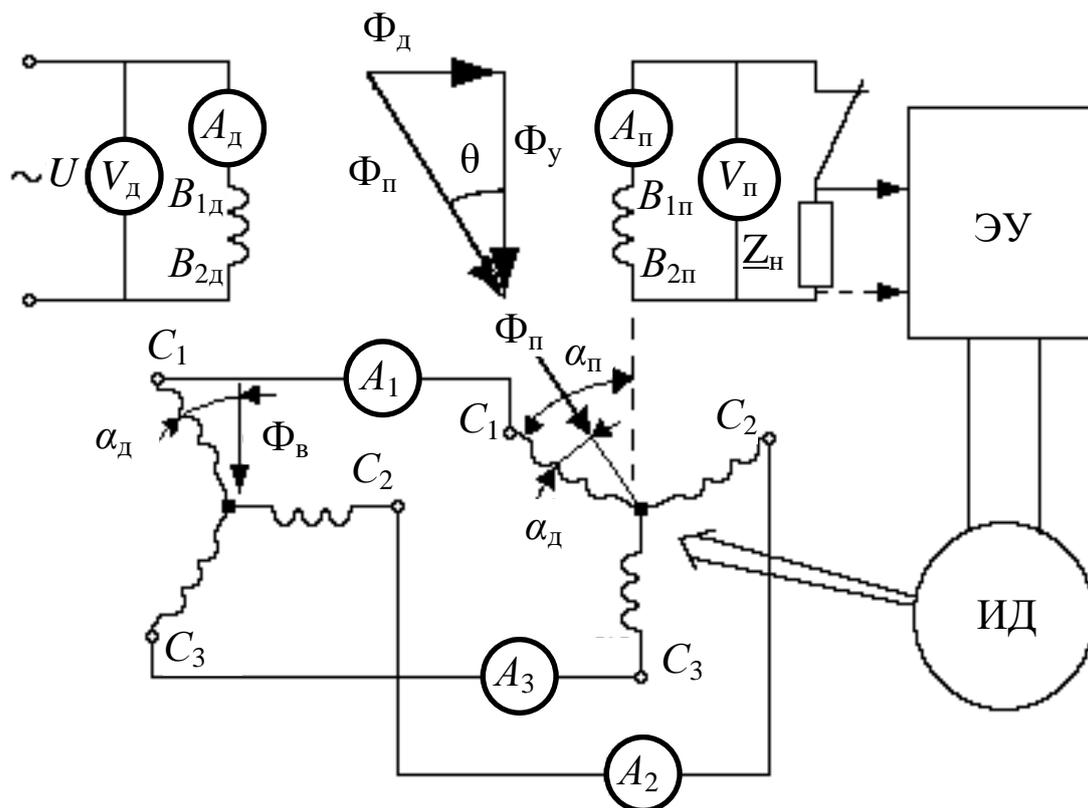


Рис. 8.3 – Схема для исследования сельсинов в трансформаторном режиме

$U_{упр} = 0$. Двигатель остановится. Положение угла $\alpha_{п}$ будет всегда равно $\alpha_{д} + 90^{\circ}$. Если сельсины работают только в трансформаторном режиме, то удобно повернуть статор приемника на -90° , тогда $\alpha_{д} = \alpha_{п}$.

В трансформаторном режиме сельсины имеют меньшую мощность отработки угла рассогласования, т.к. отсутствует влияние на работу паразитных моментов на валу. Погрешности колеблются в диапазоне от $+5'$ до $+30'$. Важной характеристикой трансформаторного режима является крутизна выходного напряжения

$$S = \left. \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta \theta} \right|_{\theta=0} \left[\frac{\text{В}}{\text{град}} \right].$$

Изменение сопротивления нагрузки $Z_{н}$ в выходной цепи сказывается на значении крутизны S , так как напряжение

$$\dot{U}_{\text{ВЫХ}} = \dot{E}_{\text{П}} - \dot{I}_{\text{П}} \dot{Z}_{\text{Н}}$$

Используя эквивалентную схему активного двухполюсника, изображенную на рис. 8.4, получим

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{E_{\text{П}}}{1 + \frac{Z_{\text{П}}}{Z_{\text{Н}}}},$$

где $E_{\text{П}} = k_2 \Phi_y = k_1 k_2 \Phi_{\text{В}} \cos \theta$ – трансформаторная ЭДС выходной обмотки; $Z_{\text{П}}$ – выходное сопротивление сельсина-приемника.

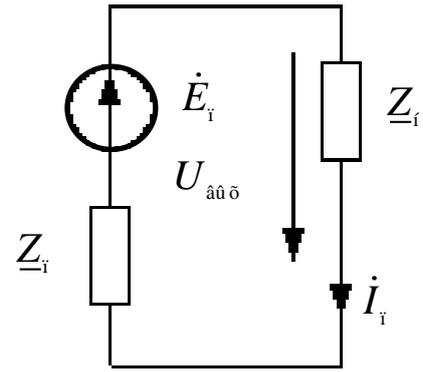


Рис. 8.4 – Эквивалентная схема активного двухполюсника

Программа работы

1. Собрать схему рис. 8.2. Освободить стопорный винт на сельсине-датчике. Снять зависимость $\theta(\alpha_{\text{а}})$ при $M_{\text{с}}=0$. $\alpha_{\text{а}}$ брать через 30° . Оценить класс сельсинов.

2. Снять зависимости рабочих и механических характеристик от угла рассогласования, который создается за счет тормозного момента, равного синхронизирующему моменту, выполненного с помощью постоянного тарированного груза G на переменном плече l .

Определить момент M , при котором сельсины выйдут из синхронизма. Зависимости поместить в таблицу 8.1.

Таблица 8.1

| № п/п | Опытные данные | | | | | | | Расчетные данные | | | Примечание |
|----------|----------------|----------|----------------|----------------|-------|-------|-------|------------------|-------------------|-------------------|------------|
| | l | θ | $I_{\text{д}}$ | $I_{\text{п}}$ | I_1 | I_2 | I_3 | $M_{\text{с}}$ | $Z_{\text{ВХ Д}}$ | $Z_{\text{ВХ П}}$ | |
| | см | град | А | А | мА | мА | мА | Г·см | Ом | Ом | |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | | |

Построить зависимости $M_{\text{с}}(\theta)$, $I_{\text{д}}(\theta)$, $I_{\text{п}}(\theta)$, $I_1(\theta)$, $I_2(\theta)$, $I_3(\theta)$.

Определить удельный синхронизирующий момент.

3. Определить по секундомеру время согласования τ .

4. Собрать схему рис. 8.3. Снять зависимость выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}(\alpha_{\text{а}})$ через 60° при $\theta = 90^\circ$ (согласованный поворот роторов датчика и приемника). Построить кривую $U_{\text{ВЫХ}}(\alpha_{\text{а}})$.

5. Закрепить стопорным винтом вал датчика, т. е. принять $\alpha_{\text{а}} = 90^\circ$. Снять зависимость выходного напряжения $U_{\text{ВЫХ}}(\theta) = U_{\text{ВЫХ}}(\alpha_{\text{п}})$ через $15-30^\circ$, меняя $\alpha_{\text{п}}$ от 0 до 180° . Результаты поместить в таблицу 8.2.

Таблица 8.2

| θ , град | | 0° | 15° | 30° | | 165° | 180° |
|----------------------|---------------------------------------|-----------|------------|------------|-------|-------------|-------------|
| $U_{\text{ВЫХ}}$, В | $R_{\text{н}} = \infty$ | | | | | | |
| | $R_{\text{н}} \approx 500 \text{ Ом}$ | | | | | | |

Построить графики $U_{\text{ВЫХ}}(\theta)$ и определить крутизну S .

6. В области малых углов рассогласования $\theta \leq 50^\circ (+90^\circ)$ определить выходное сопротивление $Z_{\text{п}}$, для чего изменяя θ через 10° , снять зависимости $U_{\text{ВЫХ}}(\theta)$ при $Z_{\text{н}} = \infty$ (холостой ход) и $I_{\text{ВЫХ}}(\theta)$ при $Z_{\text{н}} = 0$ (короткое замыкание). Данные свести в таблицу 8.3.

Таблица 8.3

| θ , град | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|-----------------------|---|----|----|----|----|----|----|
| $U_{\text{ВЫХ}}$, В | | | | | | | |
| $I_{\text{ВЫХ}}$, мА | | | | | | | |
| $Z_{\text{п}}$, Ом | | | | | | | |

Построить зависимость $Z_{\text{н}}(\theta)$.

7. При $\theta = 30^\circ (+90^\circ)$ снять зависимость $P_{\text{ВЫХ}}(R_{\text{л}})$, где

$$P_{\text{âûõ}} = \frac{U_{\text{âûõ}}^2}{R_{\text{r}}}$$

Изменения R_{r} проводить в пределах $\approx 0 \div 2$ кОм.

Данные свести в таблицу 8.4.

Таблица 8.4.

| | | | | | | | |
|------------------------------|---|-----|--|--|--|--|------|
| $R_{\text{H}}, \text{ Ом}$ | 0 | 250 | | | | | 2000 |
| $U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$ | | | | | | | |
| $P_{\text{ВЫХ}}, \text{ Вт}$ | | | | | | | |

Определить оптимальное значение R_{r} . Сравнить его с выходным для соответствующего угла θ .

Контрольные вопросы

1. Перечислить типы и назначение сельсинов.
2. Чем обусловлены стационарные погрешности сельсинов?
3. Как образуется синхронизирующий момент в индикаторном режиме?
4. Каково назначение механической обратной связи в трансформаторной схеме синхронных машин?
5. Зависит ли направление поля приемника от угла поворота ротора датчика?

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

| | |
|------|---|
| АД | – асинхронный двигатель |
| ГПТ | – генератор постоянного тока |
| ДПТ | – двигатель постоянного тока |
| ИДПТ | – исполнительный двигатель постоянного тока |
| ИОН | – источник опорного напряжения |
| КЗ | – короткое замыкание |
| КПД | – коэффициент полезного действия |
| ОВ | – обмотка возбуждения |
| РО | – регулирующий орган |
| ХХ | – холостой ход |
| ЭДС | – электродвижущая сила |

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов-Цыганов А.И. Электропреобразовательные устройства РЭС: Учеб. для вузов по спец «Радиотехника». – М.: Высш. шк., 1991. – 272 с.
2. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2003. – 664 с.
3. Кацман М.М. Электрические машины. – М.: Высш. шк., 1990. – 463 с.
4. Келим Ю.М. Электромеханические и магнитные элементы систем автоматических устройств. – М.; Высш. шк., 2004. – 352 с.
5. Китаев В.Е., Бокуняев А.А., Колканов М.Ф. Расчет источников электропитания устройств связи: Учеб. пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1993. – 232 с.
6. Обрусник В.П. Магнитные элементы электронных устройств: Учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 125 с.
7. Обрусник В.П. Электрические машины: Учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 207 с.
8. Электропитание устройств связи: Учебник для вузов/ А.А. Бокуняев, В.М. Бушуев, А.А. Жерненко и др.; под ред. Ю.Д. Козляева. – М.: Радио и связь, 1998. – 328 с.