



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Робототехника и мехатроника»

Сборник задач

к выполнению лабораторных работ
по дисциплине

«Электрические и гидравлические приводы мехатронных и робототехнических систем»

Авторы

Карнаухов Н.Ф.

Ростов-на-Дону, 2015



Аннотация

Сборник задач предназначен для студентов очной формы обучения направлений 221000, 15.03.06 «Мехатроника и робототехника».

Автор

к.т.н., профессор кафедры «РиМ»
Карнаухов Н.Ф.



Оглавление

| | |
|--|----|
| Методические указания к лабораторной работе № 1 на тему: Исследование машины постоянного тока с независимым возбуждением..... | 4 |
| Методические указания к лабораторной работе № 2 на тему: Исследование трехфазной асинхронной машины с короткозамкнутым ротором | 11 |
| Методические указания к лабораторной работе № 3 на тему: Исследование трехфазной магнитоэлектрической синхронной машины в двигательном режиме..... | 21 |
| Методические указания к лабораторной работе № 4 на тему: Исследование однофазного трансформатора | 28 |
| Методические указания к лабораторной работе № 5 на тему: Исследование системы импульсно-фазового управления тиристорного преобразователя..... | 47 |
| Методические указания к лабораторной работе № 6 на тему: Исследование тиристорного преобразователя с двигателем постоянного тока | 57 |
| Методические указания к лабораторной работе № 7 на тему: Исследование широтно-импульсного преобразователя по схеме ШИП-ДПТ | 64 |
| Методические указания к лабораторной работе № 8 на тему: Определение коэффициентов энергетической эффективности неуправляемого преобразователя для схемы «ШИП-ДПТ» | 77 |

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 1 НА ТЕМУ: ИССЛЕДОВАНИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА С НЕЗАВИСИМЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

1. Цель работы

Исследование машины постоянного тока (МПТ) при работе в двигательном и генераторном режимах.

2. Порядок выполнения работы

К выполнению лабораторной работы следует приступить после изучения необходимых сведений о МПТ {см. разделы гл. 5 в книге [1]: Герман - Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: лабораторные работы на ПК. - СПб.: КОРОНА - принт, 2003. - 256 с.}. В качестве дополнительной литературы рекомендуется: книга [2] - П. Гнедин. Power System Blockset. Перевод. 2001.- 483 с., (см. глава 4, с. 230 - 234).

3. Содержание работы

- 3.1. Снятие механической и расчет (рабочих) характеристик машины в двигательном режиме.
- 3.2. Снятие механической и расчет рабочих характеристик машины в генераторном режиме.
- 3.3. Снятие механических характеристик при различных напряжениях питания в цепи якоря.
- 3.4. Снятие механических характеристик при различных сопротивлениях в цепи якоря.
- 3.5. Снятие механических характеристик при различных потоках возбуждения.
- 3.6. Снятие регулировочных характеристик при изменении напряжения якоря.

4. Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка (ВЛУ) представлена на рис.1.

ВЛУ включает источники постоянного напряжения (V_1 для

питания якоря машины, V_2 для питания обмотки возбуждения из библиотеки Power System Blockset/Electrical Sources), блок Moment для задания момента нагрузки (блок Constant из библиотеки Simulink/Sources), с машину постоянного тока (блок *DC Machine* из библиотеки Power System Blockset/Machines), блок для измерения переменных состояния машины *Display* и осциллограф *Scope* для визуального наблюдения процессов из библиотеки Simulink/Sinks.

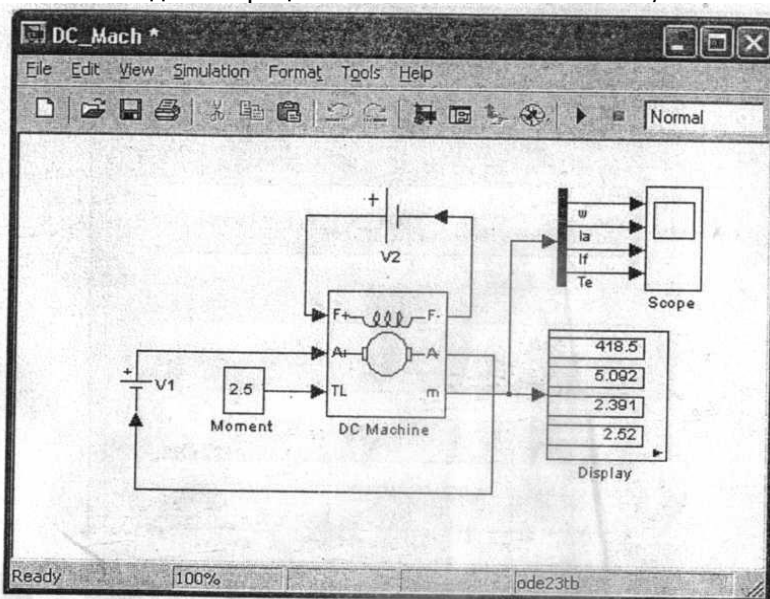


Рис. 1. Модель для исследования машины постоянного тока с независимым возбуждением

Цепь якоря и цепь возбуждения видны из графического представления (начертания) блока, на вход *TL* которого подается момент нагрузки, выход *m* предназначен для измерения и наблюдения переменных состояния машины в следующей последовательности: угловая скорость (рад/с), ток якоря в (А), ток возбуждения (А), электромагнитный момент (Н*м). В полях настройки машины (рис.2) задаются:

- параметры обмотки якоря — R_a (Ом), L_a (Гн);
- параметры обмотки возбуждения — R_f (Ом), L_f (Гн);
- коэффициент L_{af}
- суммарный момент инерции машины и нагрузки —

Робототехника и мехатроника

 J (кг*м²).

3

Следует подчеркнуть, что параметры (L_f , J) важны при исследовании переходных процессов. В установившихся режимах указанные параметры на результаты исследований не влияют.

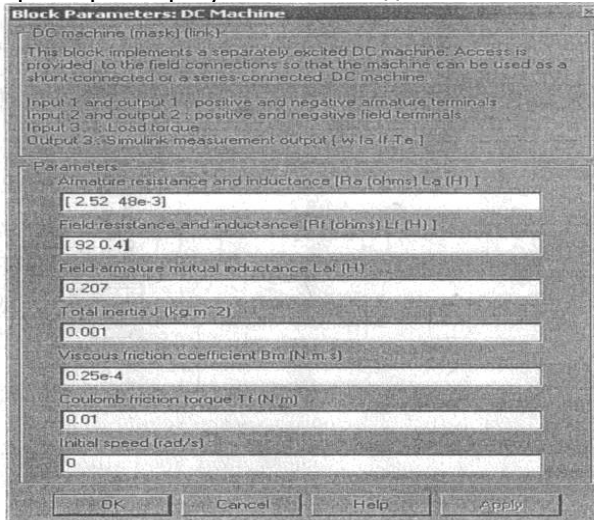


Рис. 2. Окно настройки параметров машины постоянного тока

- коэффициент вязкого трения — B_T (Нм·с);
- коэффициент сухого трения — T_f (Нм);
- начальная скорость.

Все эти параметры рассчитываются по выражениям (5.15-5.18 из [1], гл. 5)

Таблица 1. Паспортные параметры машин постоянного тока

Робототехника и мехатроника

| Тип двигателя | P_n [кВт] | U_n [В] | n_n [об/мин] | h_n [%] | R_n [Ом] | R_a [Ом] | L_n [мГн] |
|---------------|----------------|--------------|-------------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 2ПН-0.17 | 0,17 | 220 | 750 | 48,5 | 27,2 | 162 | 514 |
| 2ПН-0.25 | 0,25 | 220 | 1120 | 57 | 15,47 | 612 | 297 |
| 2ПН-0.37 | 0,37 | 220 | 1500 | 61,5 | 10,61 | 612 | 190 |
| 2ПН-0.71 | 0,71 | 220 | 2360 | 70 | 3,99 | 123 | 70 |
| 2ПН-1.0 | 1 | 220 | 3000 | 72,5 | 2,52 | 92 | 48 |

Окно настройки параметров моделирования показано на рис.3.

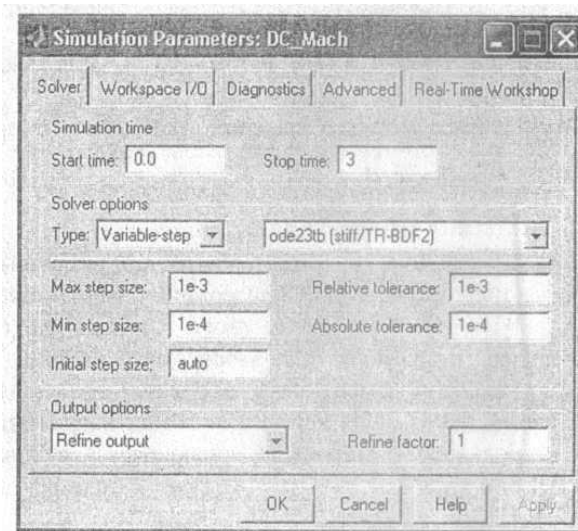


Рис. 3. Окно настройки - задания параметров моделирования

5. Порядок проведения лабораторной работы

5.1. Для заданного преподавателем типа машины (или выбранного самостоятельно студентом при работе на ВЛУ) рассчитать значения параметров МПТ и заполнить поля окна настройки (рис. 3).

5.2. Задать параметры моделирования (рис. 3).

5.3. При снятии характеристик по п. 3.1 очередности (по-

рядка) выполнения работы в окне настройки блока Moment последовательно задаются значения момента (от 0 до $1,2 M_H$ с шагом - $0,2 M_H$). Для каждого значения момента осуществляется моделирование и заполняется таблица 2, в которую следует вписать измеренные и рассчитанные значения параметров.

Таблица 2. Измеренные и рассчитанные значения параметров

| Задание | Измерения | | | Расчет | | |
|---------|-----------|------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|
| | M [Нм] | ω [рад/с] | $I_{\dot{y}}$ [А] | $I_{\dot{a}}$ [А] | P_1 [Вт] | P_2 [Вт] |

Вычисления осуществляются по выражениям:

$$P_1 = U(I_{\dot{y}} + I_{\dot{a}}), P_2 = M_H \omega, \eta = \frac{P_2}{P_1}$$

5.4. При снятии характеристик по п. 3.2 очередности выполнения работы в окне настройки блока *Moment* последовательно задаются значения момента от 0 до $-1,2M_H$ с шагом $-0,2M_H$. Для каждого значения момента осуществляется моделирование, а результаты заносятся в таблицу 2 измеренных и рассчитанных значений параметров.. Коэффициент полезного действия в этом случае вычисляется по формуле $\eta = \frac{P_1}{P_2}$.

5.5. Снятие механических характеристик при различных напряжениях питания в цепи якоря по п. 3.3 содержания работы следует провести для двух значений напряжения на якоре $0,6U_{\dot{y}}$ и $0,8U_{\dot{y}}$, где $U_{\dot{y}}$ — первоначальное напряжение на якоре, при котором выполнялись п.п. 3.1, 3.2. При этом момент нагрузки следует изменять от $-1,2M_H$ до $1,2M_H$ с шагом $0,2M_H$. Для каждого значения напряжения на якоре и момента проводится моделирование и заполняется таблица 3.

Таблица 3.

| M [Нм] | ω [рад/с] |
|----------|------------------|
| | |

5.6. Снятие механических характеристик при различных со-

противлениях в цепи якоря по п. 3.4 содержания работы следует провести для двух значений сопротивления якоря $2R_{я}$ и $4R_{я}$, где $R_{я}$ первоначальное значение сопротивления. Изменение сопротивления якоря осуществляется в поле окна настройки параметров машины. При этом момент нагрузки следует изменять от $-1.2M_H$ до $1.2M_H$ с шагом $0,2 M_H$. Для каждого значения сопротивления якоря и момента проводится моделирование и заполняется таблица 3.

5.7. Снятие механических характеристик при различных потоках возбуждения по п. 3.5 содержания работы следует провести для двух значений потока $0,6 \Phi_n$ и $0,8 \Phi_n$. Для этого в поле *Field-armature mutual inductance* необходимо установить значение L_{af} вначале $0,6$, а затем $0,8$ от первоначальной величины.

При этом момент нагрузки следует изменять от $-1.2M_H$ до $1.2M_H$ с шагом $0,2M_H$. Для каждого значения потока и момента проводится моделирование и заполняется таблица 3.

5.8. Снятие регулировочных характеристик при изменении напряжения якоря по п. 3.6 содержания работы проводится для постоянного момента нагрузки, равного номинальному, и изменению напряжения в цепи якоря от $0,4$ до $1,2$ исходного значения с шагом $0,2$ исходного значения напряжения. Для каждого значения напряжения проводится моделирование и заполняется таблица 4.

Таблица 4.

| $U_{я}$ [В] | ω [рад/с] |
|-------------|------------------|
| | |

6. В содержание отчета следует включить

1. Схему модели для проведения лабораторной работы.
2. Расчетные формулы параметров МПТ.
3. Расчетные формулы для мощностей P_1 , P_2 и КПД.
4. Заполненные таблицы.
5. Графики рабочих характеристик машины в двигательном и генераторном режимах.
6. Графики механической характеристики машины

Робототехника и мехатроника

при различных напряжениях на якоре.

7. Графики механической характеристики машины при различных сопротивлениях якоря.

8. Графики механической характеристики машины при различных потоках.

9. Регулировочная характеристика двигателя.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 2 НА ТЕМУ: ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ АСИНХРОННОЙ МАШИНЫ С КОРТОКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

1. Цель работы

Исследование трехфазной асинхронной машины с короткозамкнутым ротором.

2. Указания к выполнению работы

К выполнению лабораторной работы следует приступить после изучения необходимых сведений о трехфазном короткозамкнутом асинхронном двигателе (АД) {см. разделы гл. 3 в книге [1]: Герман - Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: лабораторные работы на ПК. - СПб.: КОРОНА - принт, 2003. - 256 с.}. В качестве дополнительной литературы рекомендуется (см. раздел 5, с. 54 - 67 в книге [2]: П. Гнедин. Power System Blockset. Перевод. 2001.- 483 с.)

3. Содержание работы

3.1 Снятие механической характеристики машины в двигательном и генераторном режимах осуществляется на виртуальной лабораторной установке, представленной на рис. 1.

3.2 Снятие рабочих характеристик машины в двигательном режиме.

4. Описание виртуальной лабораторной установки

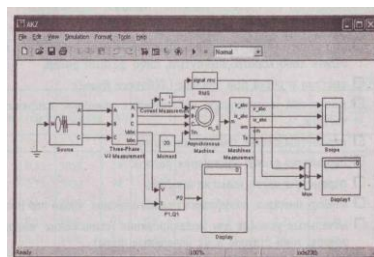


Рис. 1. Модель для исследования асинхронной машины

Модель содержит:

- источник переменного трехфазного напряжения Source из библиотеки Power System Blockset /Extras/Electrical Sources;
- измеритель трехфазного напряжения и тока Three-Phase V-I Measurement из библиотеки Power System Blockset/Extras/Measurement;
- исследуемую трехфазную асинхронную машину AsynchronousMachine из библиотеки Power System Blockset/Machines;
- измеритель активной и реактивной мощности P1 Q1 из библиотеки Power System Blockset/Extras/Measurement;
- блок Display для количественного представления измеренных мощностей и блок Scope для наблюдения тока ротора и статора, а также скорости и момента асинхронной машины из главной библиотеки Simulink/Sinks;
- блок Moment для задания механического момента на валу машины из главной библиотеки Simulink/Source;
- блок Machines Measurement из библиотеки Power System Blockset/Machines;
- блок Display1 для количественного представления измеренных электромагнитного момента (Нм) и скорости (рад/с) машины из главной библиотеки Simulink/Sinks;
- блок Мих, объединяющий три сигнала в один векторный из главной библиотеки Simulink/Sygnal & System.

Окно настройки параметров асинхронной машины показано на рис. 6.3.2.

В полях окна последовательно задаются:

- тип ротора (Rotor Type), в выпадающем меню этого поля можно задать либо короткозамкнутый, либо фазный ротор; П система отсчета при анализе (Reference frame);
- мощность, номинальное действующее линейное напряжение и частота;
- параметры схемы замещения статора;
- параметры схемы замещения ротора;
- параметры ветви намагничивания;
- момент инерции, коэффициент вязкого трения, число пар полюсов;

- начальные условия для моделирования (скольжение, положение ротора, токи статора и их начальные фазы).

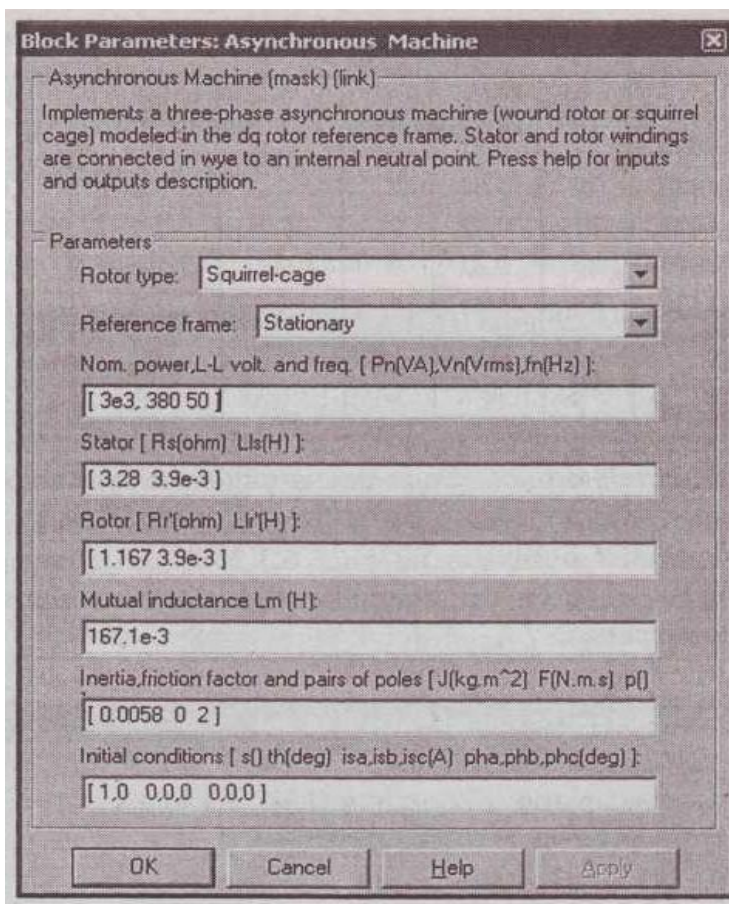


Рис. 2. Окно настройки параметров асинхронной машины

Параметры машины частично берутся из паспортных данных, а частично рассчитываются по уравнениям 3.32-3.41 (гл.3), либо используя программу (листинг 1, файл as.m).

Таблица 1

| Тип двигателя | P_n [кВт] | n [об/мин] | η [%] | $\cos \varphi$ | I_n [А] | $k_t = \frac{I_{II}}{I_n}$ | $m_{II} = \frac{M_{II}}{M_n}$ | $m_{\max} = \frac{M_{\max}}{M_n}$ | J [кГм ²] |
|---------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|--------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| RA71B2 | 0,55 | 2850 | 74 | 0,84 | 1,8 | 6,5 | 2,3 | 2,4 | 0,0005 |
| RA80A2 | 0,75 | 2820 | 74 | 0,83 | 2 | 5,3 | 2,5 | 2,7 | 0,0008 |
| RA80B2 | 1,1 | 2800 | 77 | 0,86 | 2 | 5,2 | 2,6 | 2,8 | 0,0012 |
| RA80A4 | 0,55 | 1400 | 71 | 0,8 | 1 | 5 | 2,3 | 2,8 | 0,0018 |
| RA80B4 | 0,75 | 1400 | 74 | 0,80 | 2 | 5 | 2,5 | 2,8 | 0,0023 |
| RA90S2 | 1,5 | 2835 | 79 | 0,87 | 3 | 6,5 | 2,8 | 3 | 0,0010 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|-----|------|------|------|----|-----|-----|-----|--------|
| RA90L2 | 2,2 | 2820 | 82 | 0,87 | 4 | 6,5 | 2,9 | 3,4 | 0,0015 |
| RA100LA4 | 2,2 | 1420 | 79 | 0,82 | 5 | 6 | 2,2 | 2,6 | 0,0048 |
| RA100LB4 | 3 | 1420 | 81 | 0,81 | 7 | 6,2 | 2,2 | 2,6 | 0,0058 |
| RA112M2 | 4 | 2895 | 84 | 0,87 | 9 | 6,8 | 2,2 | 3,3 | 0,0082 |
| RA112M4 | 4 | 1430 | 85,5 | 0,84 | 9 | 6,5 | 2,2 | 2,9 | 0,0103 |
| RA132SA2 | 5,5 | 2880 | 89 | 0,89 | 11 | 6,5 | 2,4 | 3 | 0,0155 |
| RA132SB2 | 7,5 | 2890 | 89 | 0,89 | 15 | 7 | 2,5 | 3,2 | 0,0185 |

Линейное номинальное напряжение для всех машин 380 В. Окно настройки параметров универсального блока измерения переменных машины показано на рис. 3. В выпадающем меню поля Machine type задается тип машины. Флажками выбираются переменные для измерения.

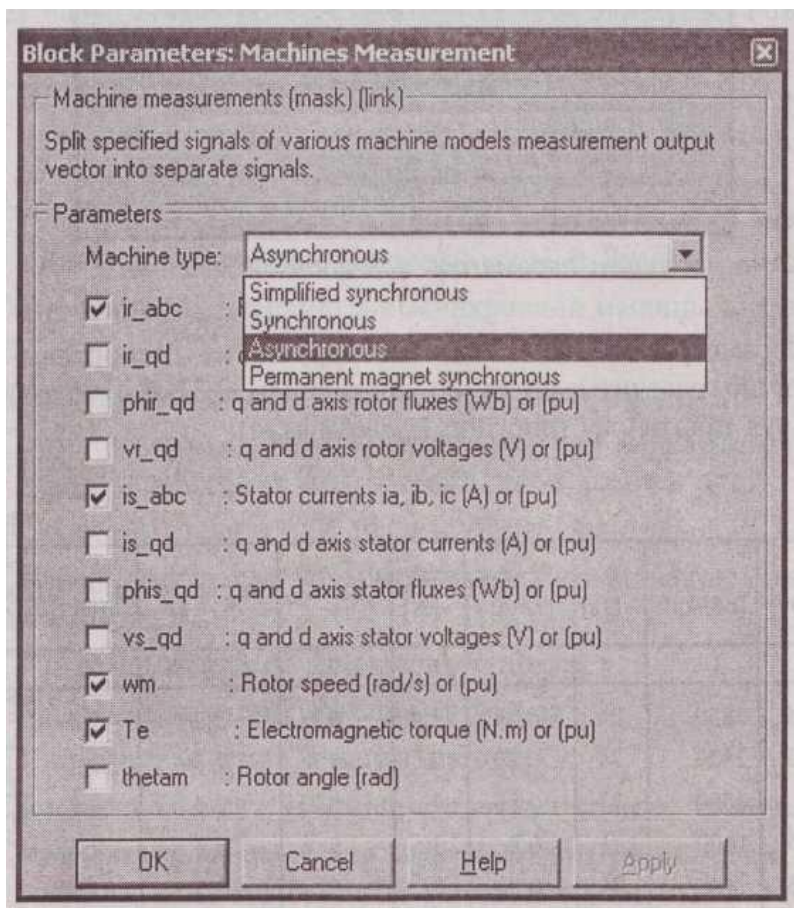


Рис. 3. Окно настройки параметров блока измерения

Окно настройки параметров источника питания показано на рис. 4. В полях окна задаются:

- амплитуда фазного напряжения источника (В);
- начальная фаза в градусах;
- частота (Гц);
- внутреннее сопротивление (Ом) и индуктивность источника (Гн).

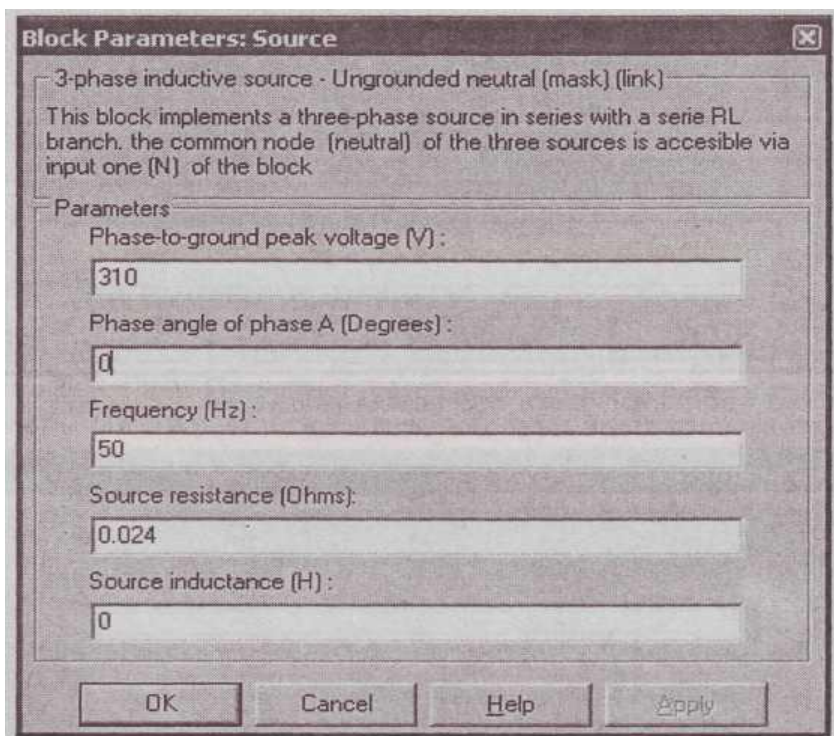


Рис. 4. Окно настройки параметров трехфазного источника питания

Напряжение и частота источника должны соответствовать параметрам асинхронной машины.

Окно настройки параметров блока измерения активной и реактивной мощности показано на рис. 5.

Здесь задается только один параметр — частота, которая должна быть равно частоте источника питания.

Окно настройки дисплея показано на рис. 6. В полях окна настройки указывается формат представления числовых результатов, в поле Decimation (разбивка) задается число шагов вычисления, через которые значения выводятся на дисплей. Установка в поле Sample time значения -1 синхронизирует работу блока с шагом вычислений.

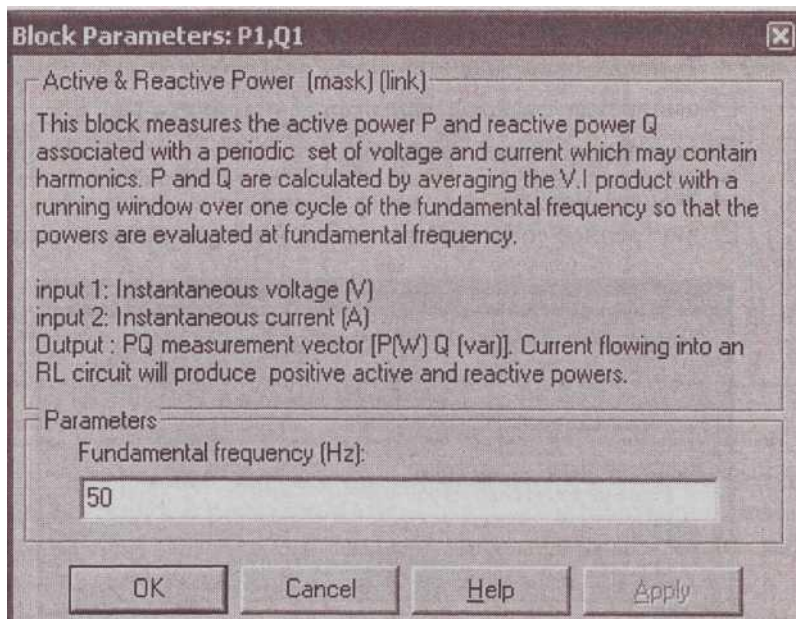


Рис. 5. Окно настройки блока измерения

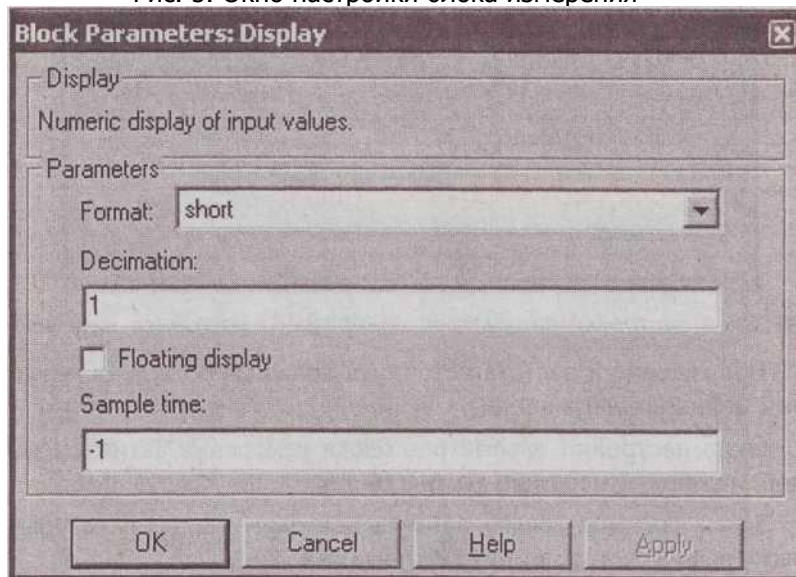


Рис. 6. Окно настройки параметров дисплея

Окно настройки блока *Мих*, объединяющего два сигнала в один векторный, показано на рис. 7. В полях окна настройки задаются число входов и внешний вид представления блока



Рис. 7. Окно настройки блока Мих

5. Порядок выполнения работы

Параметры асинхронной машины для выполнения работы задаются преподавателем. При самостоятельной работе эти данные выбираются из табл. 1 и рассчитываются, пользуясь паспортными данными (гл. 3). Окно настройки параметров моделирования показано на рис. 8.

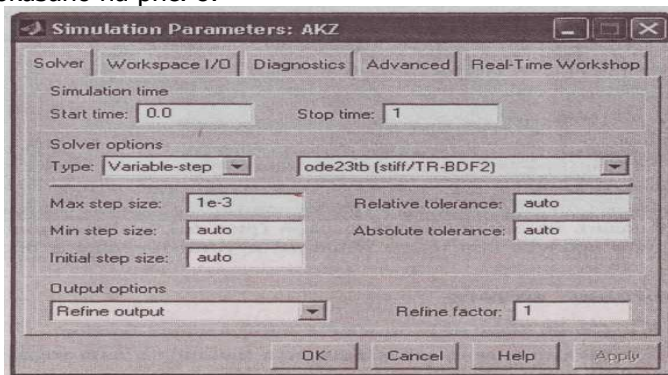


Рис. 8. Окно настройки параметров моделирования

Робототехника и мехатроника

Снятие механической характеристики машины в двигательном и генераторном режимах в соответствии с п. 3.1 содержания работы производится на модели (рис.1) при изменении нагрузочного момента во всем диапазоне -1,5-1,5 от номинального. При этом для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 2.

Таблица 2

| M [Нм] | ω [рад/с] |
|----------|------------------|
| | |

Снятие рабочих характеристик двигателя в соответствии с п. 3.2 содержания работы проводится на модели (рис. 1) при изменении нагрузочного момента в пределах 0-1,2 от номинального. При этом для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 3.

Таблица 3

| M [Нм] | Измерения | | | | | Вычисления | | | | |
|-------------|---------------|----------------|--------------|--------------|---------------------|---------------------|----------------|---------------|---------------|------------|
| | P_1 [Вт] | Q_1 [ВАр] | U_1 [В] | I_1 [А] | ω [рад/с] | φ [град] | $\cos \varphi$ | P_2 [Вт] | η [%] | s [%] |
| | | | | | | | | | | |

Вычисления производятся по выражениям:

$$\varphi = \arctg \frac{Q_1}{P_1}, \quad P_2 = M\omega, \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}, \quad s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1}.$$

По данным таблиц строится механическая характеристика машины и на отдельном графике — рабочие характеристики. Временные зависимости переменных состояния машины можно наблюдать на экране осциллографа (рис.9). Здесь видны переходной процесс при пуске машины и установившиеся процессы.

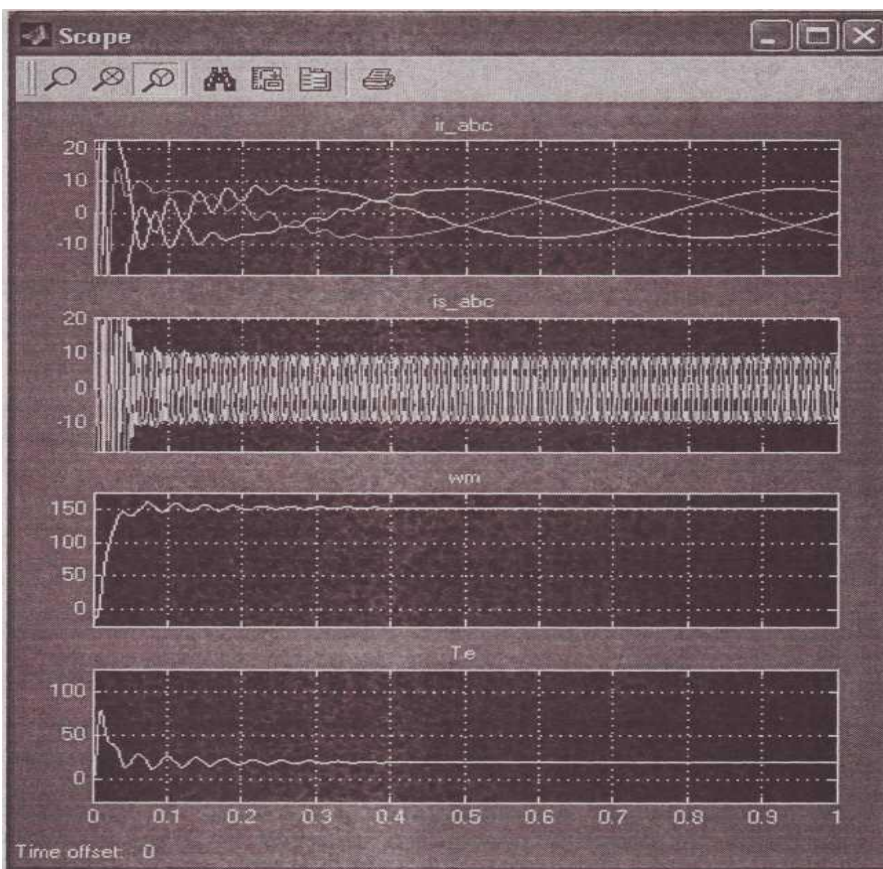


Рис. 9. Временные зависимости переменных состояния машины при работе в двигательном режиме

6. Содержание отчета

- 6.1 Схема модели и описание виртуальных блоков.
- 6.2. Таблицы значений расчетных и экспериментальных параметров.
- 6.3. Механические характеристики машины в двигательном и генераторном режимах.
- 6.4. Рабочие характеристики машины в двигательном режиме.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 3 НА ТЕМУ: ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ В ДВИГАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

1. Цель работы

Исследование трехфазной явнополюсной, магнитоэлектрической синхронной машины.

2. Указания к выполнению работы

К выполнению лабораторной работы следует приступить после изучения необходимых сведений о машинах переменного тока (МПТ) {см. разделы гл. 4 в книге [1]: Герман - Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: лабораторные работы на ПК. - СПб.: КОРОНА - принт, 2003. - 256 с.}. В качестве дополнительной литературы рекомендуется: книга [2]: П. Гнедин. Power System Blockset. Перевод. 2001.- 483 с., (см. глава 4, с. 313 -318, с. 390 - 403).

3. Содержание работы

3.1. Снятие рабочих характеристик машины в двигательном режиме

3.2. Снятие зависимости потребляемой из сети мощности от потока возбуждения машины.

4. Описание виртуальной лабораторной установки (ВЛУ)

Виртуальная лабораторная установка (ВЛУ) представлена на рис. 1.

ВЛУ содержит:

- источник переменного трехфазного напряжения Source из библиотеки Power System Blockset/Extras/Electrical Sources;

- измеритель трехфазного напряжения и тока Three-Phase V-1 Measurement из библиотеки Power System

Blockset/Extras/Measurement;

- исследуемую трехфазную синхронную машину Permanent Magnet Synchronous Machine из библиотеки Power System Blockset/Machines;

- измеритель активной и реактивной мощности P1, Q1 из библиотеки Power System Blockset/Extras/Measurement;

- блок измерения переменных состояния машины Machines Measurement из библиотеки Power System Blockset/Machines;

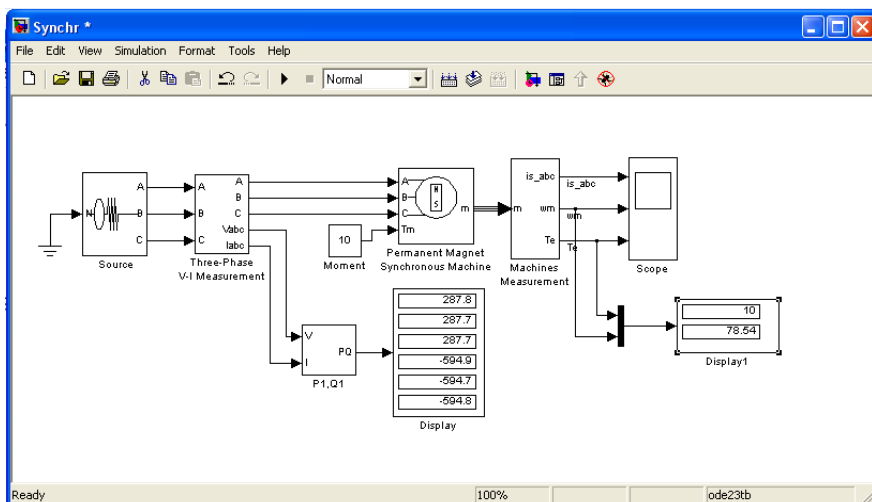


Рис. 1. Модель для исследования синхронной машины

- блок Display для количественного представления измененных мощностей (в трех первых окнах блока представлены активные мощности в каждой фазе машины, в трех последних — реактивные мощности);

- блок RMS Из библиотеки Power System BLockset/Extras/ Measurement, измеряющий действующий ток в фазе машины;

- блок Moment для задания механического момента на валу машины из главной библиотеки Simulink/Source;

- блок Product из главной библиотеки Simulink/Math, вычисляющий механическую мощность на валу машины;

- блок Scope для наблюдения тока статора, момента и механической мощности синхронной машины из главной библиотеки Simulink/Sinks;

- блок Display1 для количественного представления изме-

ренных тока (А) и электромагнитного момента (Нм) машины из главной библиотеки Simulink/Sinks;

- блок Mux, объединяющий два сигнала в один векторный из главной библиотеки Simulink/Sygnal & System.

Окно настройки параметров синхронной машины показано на рис. 2.

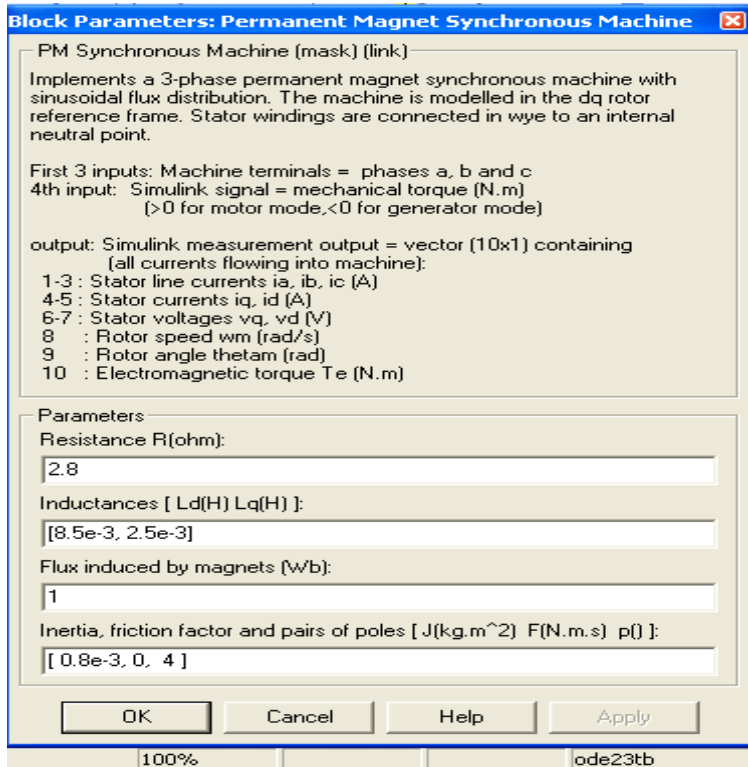


Рис. 2. Окно настройки параметров синхронной машины

В полях окна последовательно задаются:

- активное сопротивление обмотки статора (Ом);
- индуктивности по продольной и поперечной оси (Гн);
- максимальный поток в машине (Вб);
- момент инерции (кгм²), коэффициент вязкого трения (Нмс), число пар полюсов.

Окно настройки блока измерения переменных состояния машины показано на рис. 3.

Тип машины выбирается в поле Machine type. В выпадающем меню этого поля следует выбрать Permanent magnet synchronous. Флажки слева включаются у тех переменных состояния, которые подлежат измерению.

Окно настройки параметров источника показано на рис. 4. Напряжение и частота источника должны быть согласованы с напряжением, скоростью и числом пар полюсов машины.

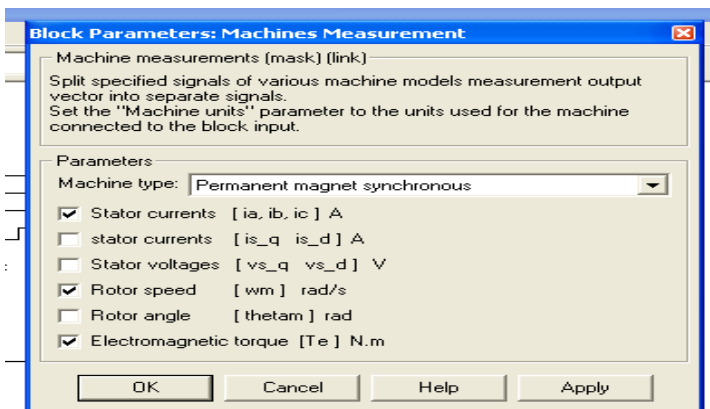


Рис. 3. Окно настройки измерителя переменных состояния машины

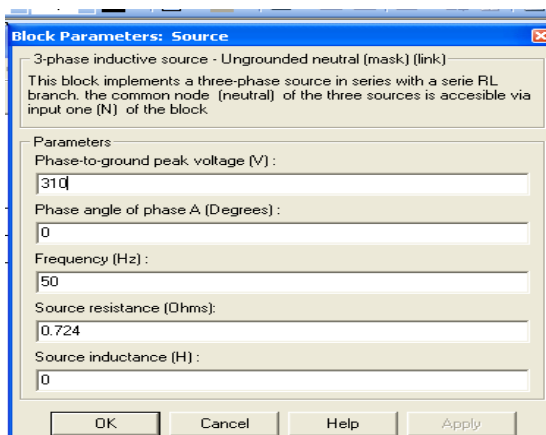


Рис. 4. Окно настройки параметров источника питания

5. Порядок выполнения работы

Параметры синхронной машины и источника питания для выполнения работы задаются преподавателем. При самостоятельной работе данные машины можно принять такими, как показано на рис. 2, а данные источника — как на рис. 4. Окно настройки параметров моделирования показано на рис. 5.

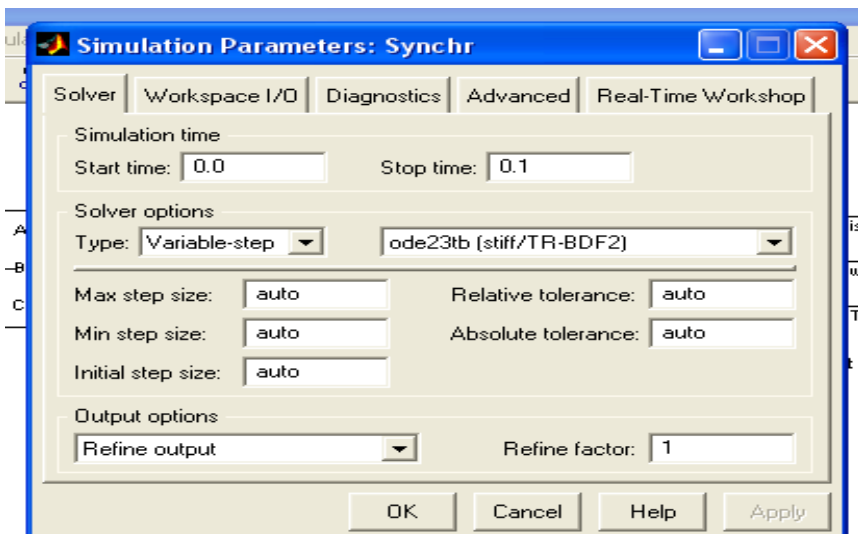


Рис. 5. Окно настройки параметров моделирования

Снятие механической и рабочих характеристик машины в двигательном режиме в соответствии с п. 3.1 содержания работы производится на модели (рис.1) при изменении нагрузочного момента от нуля до 1,4 от номинального. Номинальный момент определяется из выражения

$$M_H \approx \frac{\sqrt{3}U_m(U_m - \omega\Phi_m)p}{\sqrt{2}\omega R_s} \quad (1)$$

где U_m , $\omega = 2\pi f$ - амплитуда и частота источника питания, Φ_m , R_s , p — максимальный поток, сопротивление статора и число

пар полюсов машины (рис. 2).

Для каждого значения момента нагрузки осуществляется моделирование. При проведении исследований заполняется таблица 1.

Таблица 1

| Измерения | | | | | | Вычисления | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|----------|------------|-----|-----------|-----------------------|--------|
| M | P_1 | Q_1 | U_1 | I_1 | ω | P_2 | I | φ | $\text{Cos } \varphi$ | η |
| [Нм] | [Вт] | [ВАр] | [В] | [А] | [рад/с] | [Вт] | [А] | [град] | | [%] |

Вычисления осуществляются по формулам:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arctg \frac{Q_1}{P_1}; & \eta &= \frac{P_1}{P_2}; & P_1 &= P_A + P_B + P_C; \\ Q_1 &= Q_A + Q_B + Q_C; & & & & (2) \end{aligned}$$

По данным таблицы строятся рабочие характеристики I , $\text{Cos } \varphi$, $\eta = f(P_2)$.

На рис. 6 видны зависимости переменных состояния машины. Снятие зависимости потребляемой из сети мощности от потока возбуждения машины в соответствии с п. 3.2 содержания работы осуществляется на модели (рис. 1) при постоянном моменте нагрузки (задается преподавателем). Максимальный поток в поле Flux induced magnets (рис. 2) следует задавать в диапазоне 0,6 - 1,2 Вб с шагом 0,05 Вб. Для каждого значения потока следует выполнить моделирование, по результатам заполнить таблицу 2.

Таблица 2

| Φ_m | Q_1 | P_1 | $\text{Cos } \varphi$ |
|----------|-------|-------|-----------------------|
| [Вб] | [ВАр] | [Вт] | |

6. Содержание отчета

6.1. Представить схему модели и описание виртуальных блоков.

6.2. Построить и дать пояснения к рабочим характеристикам машины в двигательном режиме.

6.3. Привести зависимости P_1 , Q_1 , $\cos \varphi$ от Φ_m с краткими пояснениями.

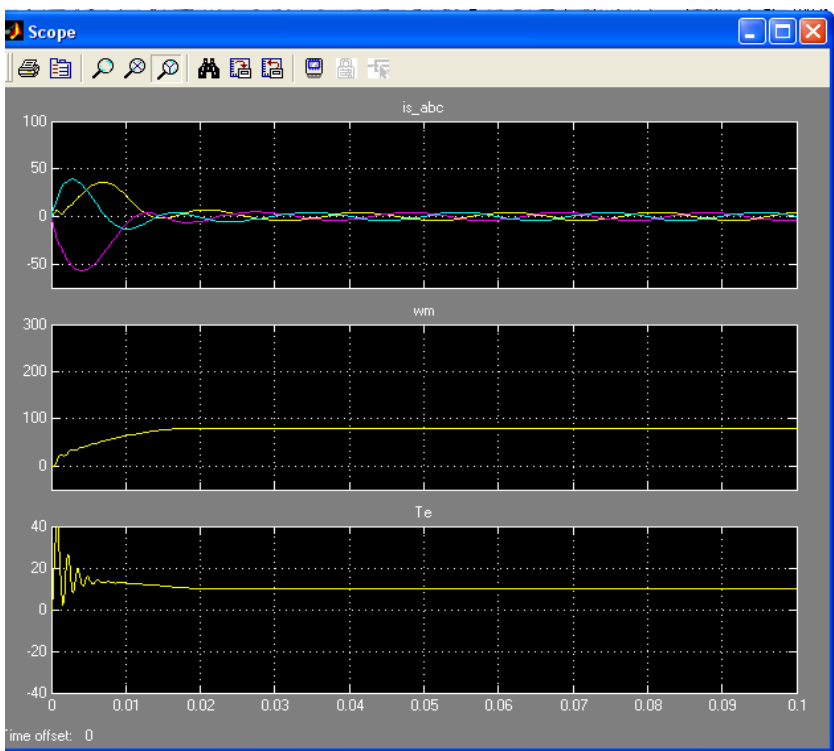


Рис. 6. Временные зависимости переменных состояния машины

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4 НА ТЕМУ: ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1. Цель работы

Исследование однофазного трансформатора, нагруженного активным сопротивлением.

2. Указания к выполнению работы

К выполнению лабораторной работы следует приступить после изучения необходимых сведений о трансформаторах {гл. 2, разделы: 2.1 - 2.8 книги [1]: Герман - Галкин С.Г., Кардонов Г.А. Электрические машины: лабораторные работы на ПК. - СПб.: КОРОНА - принт, 2003. - 256 с.}. В качестве дополнительной литературы рекомендуется: книга [2] - П. Гнедин. Power System Blockset. Перевод. 2001.- 483 с., (см. глава 4, с. 286 - 290).

3. Содержание работы

3.1. Определение параметров схемы замещения при помощи опытов холостого хода и короткого замыкания.

3.2. Снятие нагрузочной и рабочих характеристик трансформатора.

4. Описание виртуальной лабораторной установки

Виртуальная лабораторная установка представлена на рис. 1.

1. Модель содержит:
- источник переменного напряжения E_1 из библиотеки Power

System Blockset/Electrical Sources;
- измерители напряжения V_1 V_2 и измерители тока I_1 , I_2 первичной и вторичной цепях трансформатора из библиотеки Power System Blockset/Measurement;

-исследуемый трансформатор (*Linear Transformer*) и нагрузку

(*R Load*) из библиотеки Power System Blockset/Elements;

-измерители активной и реактивной мощности в пер-

вичной трансформатора ($P_1, Q_1; P_2, Q_2$) из библиотеки Power System Blockset/Extras/Measurement; - блок пользователя (*Powergui*), который измеряет значения V_1, V_2, I_1, I_2 - блоки *Display1* для количественного представления измеренных мощностей и блок *Scope* для наблюдения формы кривых тока и напряжения во вторичной цепи являются блокам главной библиотеки Simulink/Sinks.

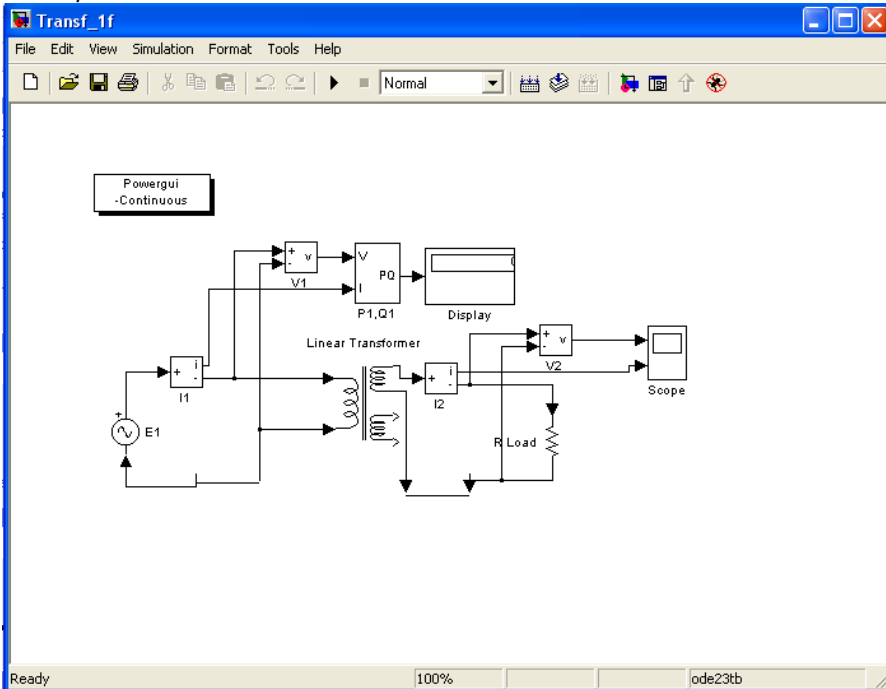


Рис.1. Модель для исследования однофазного трансформатора

Параметры трансформаторов для выполнения лабораторной работы приведены в таблице 1.

Таблица 1

| Тип трансформатора | S _н [кВА] | U _к [%] | P _к [Вт] | P ₁₀ [Вт] | I ₁₀ [%] |
|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | | | | |

Робототехника и мехатроника

| | | | | | | |
|------------|----|----|-----|----|----|---|
| TC-10/066 | | 1 | 4 | 2 | 9 | 7 |
| TC-16/066 | 0 | ,5 | 80 | 0 | | 5 |
| TC-25/066 | 1 | 4 | 4 | 1 | ,8 | |
| TC-40/066 | 6 | ,5 | 00 | 25 | | 4 |
| TC-63/066 | 2 | 4 | 5 | 1 | ,8 | |
| TC-100/066 | 5 | ,5 | 60 | 80 | | 4 |
| TC-160/066 | 4 | 4 | 8 | 2 | ,0 | |
| | 0 | ,5 | 00 | 50 | | 3 |
| | 6 | 4 | 1 | 3 | ,3 | |
| | 3 | ,5 | 090 | 55 | | 2 |
| | 1 | 4 | 1 | 5 | ,7 | |
| | 00 | ,5 | 500 | 00 | | 2 |
| | 1 | 4 | 2 | 7 | ,3 | |
| | 60 | ,5 | 060 | 10 | | |

Ниже исследуется трансформатор типа TC-100/066. Расчет параметров схемы замещения трансформатора осуществляется по выражениям (2.18-2.21 [1])

Окно настройки параметров трансформатора показано на рис. 2.

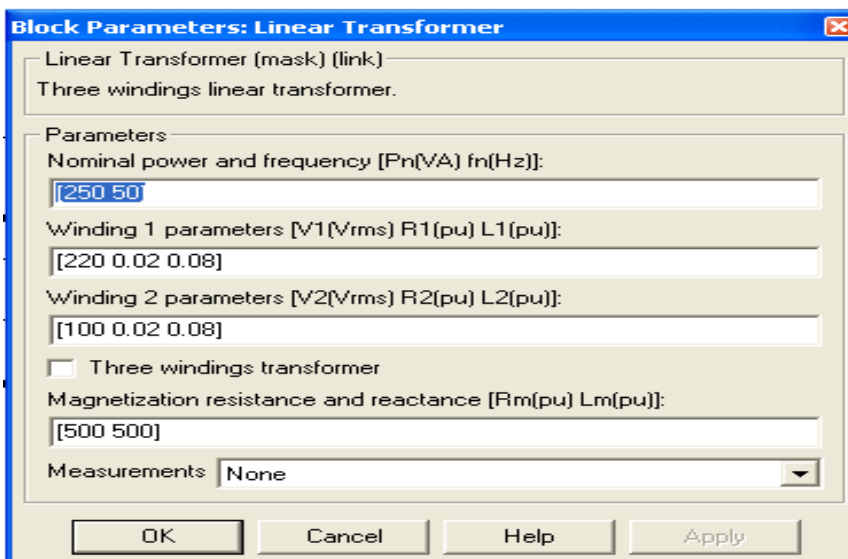


Рис. 2. Окно настройки параметров трансформатора

В полях окна последовательно задаются:

- мощность трансформатора и частота;
- действующее напряжение и относительные параметры схемы

замещения первичной обмотки;

- действующее напряжение и относительные параметры схемы

замещения вторичных обмоток;

- относительные параметры ветви намагничивания;
- переменные состояния трансформатора, которые измеряются блоком *Multimeter*.

Поскольку блок *Multimeter* не используется, то в поле *Measurement* из выпадающего меню выбрана опция *None*.

Окно настройки параметров источника питания показано на рис. 3. В полях окна задаются:

- амплитуда источника (В);
- начальная фаза в градусах;
- частота (Гц);
- образец времени (с);
- переменные, измеряемые блоком *Multimeter*.

Напряжение и частота источника должны соответствовать параметрам трансформатора.

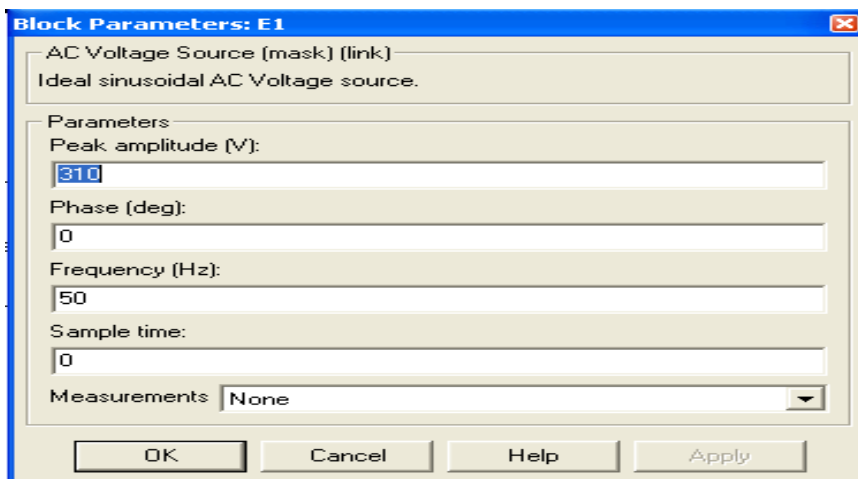


Рис.3. Окно настройки параметров источника питания

Окно настройки параметров нагрузки показано на рис. 4.

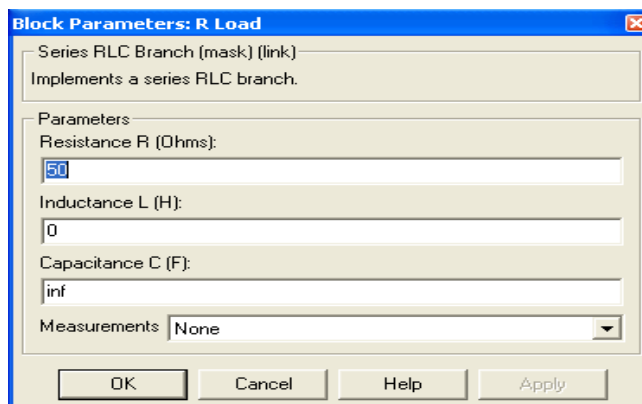


Рис.4. Окно настройки параметров нагрузки

В полях окна задаются R , L , C - параметры нагрузки. Для исключения реактивных элементов индуктивность должна быть задана равной нулю, а емкость — бесконечности (*inf*). В окне настройки параметров измерителя мощности (рис. 5.) указывается частота, на которой измеряется активная и реактивная мощность. Окно настройки дисплея показано на рис. 6. В полях окна настройки указывается формат представления числовых результатов, в поле *Decimation* (разбивка) задается число шагов вычисления, через которые значения выводятся на дисплей.

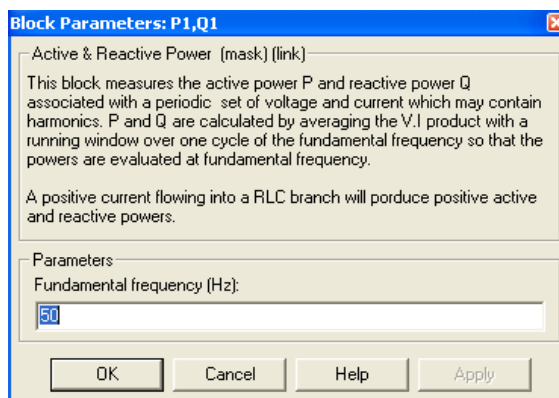


Рис.5. Окно настройки измерителя активной и реактивной мощности

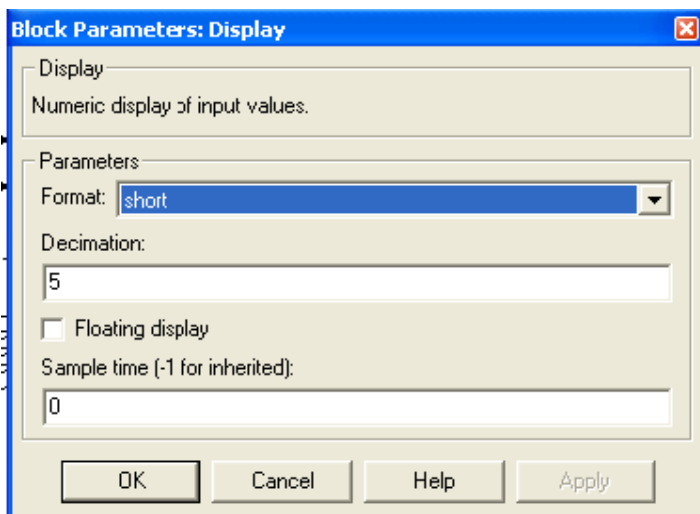


Рис.6. Окно настройки дисплея

5. Порядок выполнения работы

Тип трансформатора для выполнения работы задается преподавателем. При самостоятельной работе исходные данные можно использовать из окна настройки (рис. 2). Окно настройки параметров моделирования показано на рис. 7.

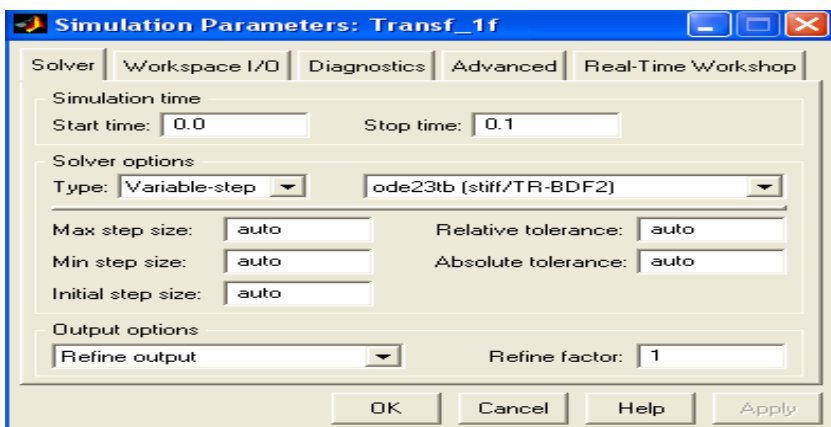


Рис.7. Окно настройки параметров моделирования

Определение параметров схемы замещения по п. 3.1 содержания работы и сравнение их с заданными в окне,

настройки (рис.2) производится при помощи методов холостого хода и короткого замыкания. При холостом ходе нагрузка отключена, трансформатор, запитан номинальным напряжением. Действующие значения напряжений и токов трансформатора при холостом ходе определяются в окне блока *Powergui* (рис. 8).

Напомним, что активная мощность в режиме холостого хода равна потерям в сердечнике трансформатора.

Относительные параметры ветви намагничивания рассчитываются по выражениям (2.18 - 2.21) (программа, листинг 2.1).

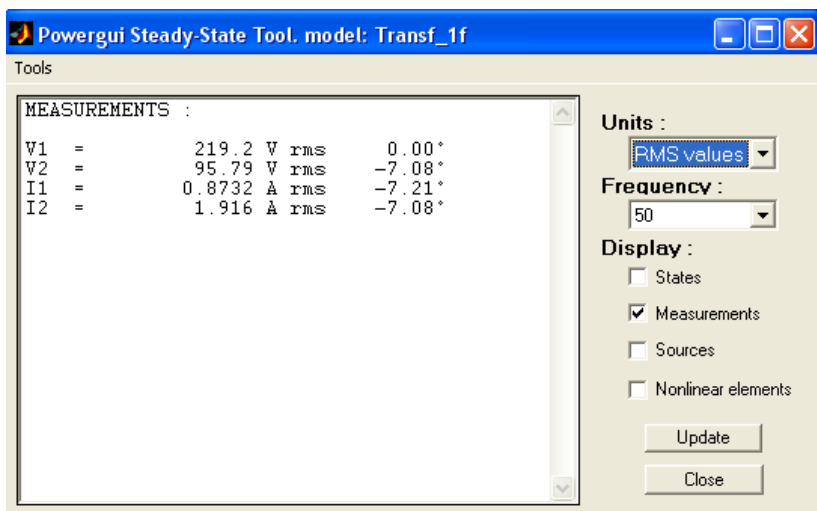


Рис.8. Окно блока Powergui с результатами измерения

Опыт короткого замыкания проводится при коротком замыкании во вторичной цепи. При этом напряжение источника питания должно быть равно напряжению короткого замыкания трансформатора, ($U_k = 29p$ В).

Напомним, что активная мощность в режиме короткого замыкания при первичном токе короткого замыкания равным номинальному, определяет потери в обмотках трансформатора. После проведения опытов и расчета параметров следует сравнить их с теми, которые были введены в окно параметров (рис. 2).

Снятие нагрузочной и рабочих характеристик трансформатора производится на модели (рис.1) при изменении сопротивления нагрузки в диапазоне (0,2-1,2) $R_{ном}$. При этом осуществляется моделирование для каждого значения сопротивления нагрузки.

Номинальное сопротивление нагрузки рассчитывается по формуле

$$(1) \quad R = \frac{U_1^2}{S}$$

Обозначения соответствуют таблице 2, которая заполняется при проведении исследований на виртуальной лабораторной установке (ВЛУ).

Таблица 2

| Нагр. | Измерения | | | | | | | | Вычисления | | |
|---------------|---------------|----------------|--------------|--------------|---------------|----------------|--------------|--------------|-----------------------|----------------------------|--------|
| R_n [Ом] | P_1 [Вт] | Q_1 [ВАр] | U_1 [В] | I_1 [А] | P_2 [Вт] | Q_2 [ВАр] | U_2 [В] | I_2 [А] | φ_1 [град] | $\cos \varphi_1$ [град] | η |

Необходимые вычисления производятся по выражениям:

$$(2) \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad \varphi_1 = \arctg \frac{Q_1}{P_1}$$

По данным таблицы строятся:

- нагрузочная характеристика трансформатора,
- рабочие характеристики.

Формы напряжения и тока на вторичной обмотке трансформатора, полученные с помощью осциллографа *Scope* представлены на рис. 9.

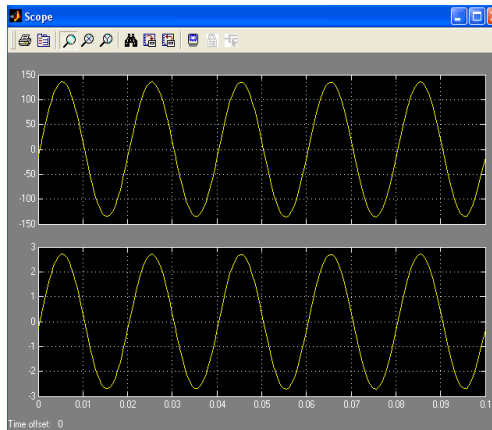


Рис. 9. Формы напряжения и тока на первичной обмотке

6. В содержание отчета следует включить:

- 6.1. Схему модели и описание виртуальных блоков.
- 6.2. Сравнительную таблицу заданных и определенных (из опытов холостого хода и короткого замыкания) параметров трансформатора.
- 6.3. Нагрузочную характеристику трансформатора
 $U_2 = f(I_2)$.
- 6.4. Рабочие характеристики трансформатора η , $\cos\varphi_1$, $U_2 = f(I_2)$.
- 6.5. Основные положения и выводы по результатам исследований.

Теоретические основы работы обобщенного трансформатора

1. Принцип действия трансформаторов

Диапазон мощностей, в которых работают трансформаторы огромен. Как уже было отмечено ранее, мощные силовые трансформаторы преобразуют мощности до 10^9 вольт-ампер, тогда как трансформаторы маломощные (например, в источниках вторичного питания) преобразуют мощность в несколько вольт-ампер. Диапазон напряжений, в которых работают трансформаторы, также огромен: от нескольких вольт до сотен киловольт. Такая разнородность условий работы трансформаторов обуславливает большое разнообразие их конструкций, однако физическая суть их работы остается всегда одной и той же. На рис. 10 показана электромагнитная схема обобщенного трансформатора, которая является основой для анализа любых конструкций.

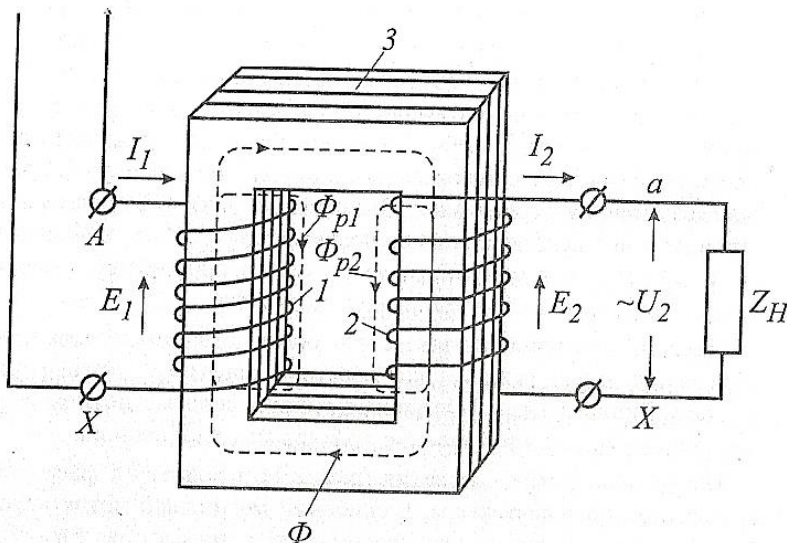


Рис. 1. Электромагнитная схема обобщенного трансформатора

На ферромагнитном сердечнике размещены две обмотки первичная с количеством витков $w1$ и вторичная с количеством витков $w2$. Первичная обмотка подключается к источнику с напряжением $u1$, ко вторичной обмотке присоединяется нагрузка. Токи, протекающие по обмоткам, создают:

- основной магнитный поток Φ , который является переносчиком энергии из первичной цепи во вторичную;
- поток рассеяния первичной обмотки Φ_{p1} , сцепленный только с первичной обмоткой и замыкающийся в основном по воздуху;
- поток рассеяния вторичной обмотки Φ_{p2} , сцепленный только со вторичной обмоткой и замыкающийся в основном по воздуху.

7.2. Режим холостого хода трансформатора

Для выяснения сущности физических процессов в трансформаторе рассмотрим вначале его работу в режиме холостого хода, когда ток во вторичной цепи равен нулю (нагрузка не подключена). При подаче на первичную обмотку трансформатора (рис. 10) синусоидального питающего напряжения по ней

протекает ток. Под действием 'связывающего обе обмотки магнитного потока в обеих обмотках наводятся э. д.с. самоиндукции. При синусоидальном напряжении $u_1 = U_{m1} \sin 2\pi ft$ форму кривой магнитного потока в ферромагнитном сердечнике также можно считать синусоидальной. Форма же кривой тока в режиме холостого хода, вследствие насыщения магнитной системы, становится заостренной и имеет резко выраженную третью гармонику, амплитуда которой достигает 15-30% от амплитуды первой гармоники. С целью использования при расчетах трансформаторов символического метода действительную форму тока заменяют эквивалентной синусоидальной. Действующее значение эквивалентной синусоиды равно действующему значению реального тока, а фазовый сдвиг этой эквивалентной синусоиды относительно приложенного напряжения зависит от потерь в ферромагнитном сердечнике.

Следует при этом отметить, что режим холостого хода позволяет определить такие важные для практики параметры трансформатора, как коэффициент трансформации, потери в ферромагнитном сердечнике, индуктивное сопротивление контура намагничивания.

Магнитный поток рассеяния (рис. 10) находится в фазе с первичным током трансформатора, а основной магнитный поток вследствие потерь в сердечнике незначительно отстает по фазе от тока. Поэтому на основании II закона Кирхгофа для режима холостого хода можно записать:

$$\dot{U}_1 = \dot{E}_1 + R_1 \dot{I}_1 + jx_{p1} \dot{I}_{10} \quad (3)$$

$\dot{U}_1, \dot{I}_{10}, \dot{E}_1$ — комплексы питающего напряжения, э.д.с. и эквивалентного тока первичной обмотки;

R_1, x_{p1} — её активное сопротивление и индуктивное сопротивление рассеяния. В режиме холостого хода падения напряжения на активном и индуктивном сопротивлении малы по сравнению с э.д.с, поэтому уравнение (2.1) принимает вид

$$\dot{U}_1 \approx \dot{E}_1 \quad (4)$$

Векторная диаграмма, построенная по уравнению (4), изображена на рис. 11.

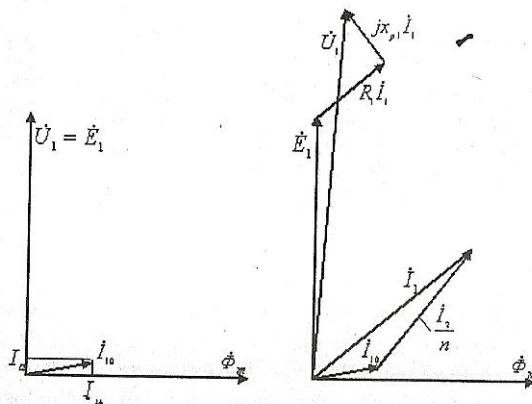


Рис.11. Векторные диаграммы трансформатора

Разложив вектор тока I_{10} на две составляющие: I_{μ} — вектор тока намагничивания трансформатора, обеспечивающий протекание в ферромагнитном сердечнике потока Φ_r , и вектор I_a — вектор тока, учитывающий активные потери на гистерезис и вихревые токи в сердечнике трансформатора, — можем получить схему замещения холостого хода трансформатора (рис. 12 а). В этой схеме замещения трансформатор представляется только как идеальный преобразователь э.д.с, коэффициент преобразования рассчитывается следующим образом.

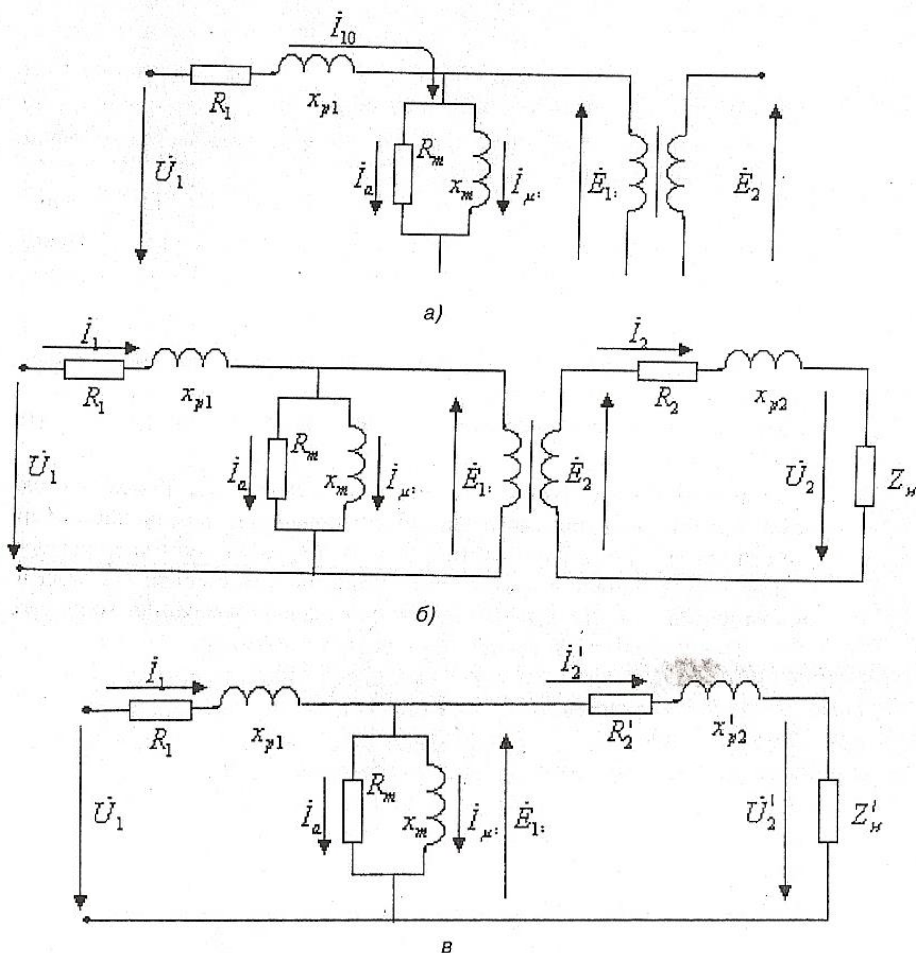


Рис.12. Схемы замещения трансформатора для режима холостого хода.

Учитывая связь э.д.с. самоиндукции $e(t)$ с магнитным потоком $\Phi(t)$, легко получить уравнение трансформаторных э.д.с. на первичной и вторичной обмотках. Действующие значение этих э.д.с. равно:

(5)

где w_1, w_2 — числа витков обмоток, S — сечение

$$E_1 = 4,44 w_1 f \Phi_m = 4,44 w_1 f B_m S$$

$$E_2 = 4,44 w_2 f \Phi_m = 4,44 w_2 f B_m S$$

ВИТ-
НИЕ

сердечника трансформатора и f — частота питающей сети.

Коэффициент преобразования э.д.с, который называется коэффициентом трансформации, находится из (5):

$$(6) \quad n = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w1}{w2}$$

В режиме холостого хода ток в первичной обмотке трансформатора составляет лишь 3-10 % (для трансформаторов средней и большой мощности) от номинального тока. Поэтому мощность, измеренная в первичной цепи, соответствует практически только потерям в сердечнике трансформатора.

В геометрически подобных трансформаторах, имеющих одинаковые электромагнитные нагрузки, при уменьшении номинальной мощности отношение тока холостого хода к номинальному току нагрузки возрастает. Поэтому у трансформаторов малой мощности ток холостого хода может достигать 10-60% от номинального тока. В этом случае мощность в режиме холостого хода будет отражать не только потери в ферромагнитном сердечнике, но и потери в активном сопротивлении первичной обмотки трансформатора.

При синусоидальном питающем напряжении потери в ферромагнитном сердечнике можно считать приблизительно пропорциональными частоте в степени 1,25 и индукции в степени 2. Параметры режима холостого хода: номинальное напряжение, ток и мощность (U_1, I_{10}, P_{10}) заносятся в справочные данные на трансформатор на заводе-изготовителе. По этим данным рассчитываются параметры схемы замещения (рис.12 а), необходимые для анализа трансформатора.

$$R_0 = \frac{U_1}{I_{10} \cos \varphi_0},$$

$$x_0 = \frac{U_1}{I_{10} \sin \varphi_0} \varphi_0 = \arccos \frac{P_{10}}{U_1 I_{10}}$$

(7)

7.3. Работа трансформатора под нагрузкой

При подключении нагрузки Z_n к вторичной обмотке трансформатора э.д.с. E_2 создает ток I_2 во вторичной цепи. Так как трансформатор начинает отдавать нагрузке некоторую мощность, то возрастает и мощность, потребляемая из сети, т. е. к току I_{10} добавляется некоторый дополнительный ток I_k , называемый компенсационным. При этом ток в первичной обмотке становится равным

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + \dot{I}_k \quad (8)$$

Величину компенсационного тока можно найти из следующих соображений. Электромагнитная мощность полностью передается идеальным трансформатором из первичной во вторичную цепь, поэтому

(9)

Из уравнения (9) находится значение компенсационного тока $E_1 I_k = E_2 I_2 = \frac{E_1}{n} I_2$

$$\dot{I}_k = \dot{I}_2 \frac{w_2}{w_1} = \frac{\dot{I}_2}{n} \quad (10)$$

Схема замещения трансформатора для режима нагрузки, (рис. 12,6) будет отличаться от схемы замещения, соответствующей холостому ходу, лишь добавлением параметров вторичной обмотки и сопротивления нагрузки трансформатора. В этом случае для математического описания трансформатора к уравнениям (3, 8) нужно добавить уравнение, составленное по второму закону Кирхгофа для вторичной цепи;

тогда полная система уравнений, описывающая трансформатор, примет вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{E}_1 + R_1 \dot{I}_1 + jx_{p1} \dot{I}_1, \\ \dot{E}_2 &= R_2 \dot{I}_2 + jx_{p2} \dot{I}_2 + \dot{U}_2, \\ (11) \quad \dot{I}_1 &= \dot{I}_{10} + \frac{\dot{I}_2}{n} \end{aligned}$$

Исследование трансформатора (аналитическое и экспериментальное) значительно облегчается, если реальный

трансформатор с магнитно-связанными обмотками заменить эквивалентной схемой, элементы которой электрически связаны между собой. Для этого необходимо реальный трансформатор заменить эквивалентным (т. н. приведенным) трансформатором, у которого число витков первичной и вторичной обмоток равны. При таком приведении должны оставаться неизменными все энергетические соотношения в трансформаторе.

Нетрудно преобразовать два последних уравнения системы (10) с учетом (6) к виду:

$$(12) \quad \dot{U}_1 = \dot{E}_1 + R_1 \dot{I}_1 + jx_{p1} \dot{I}_1,$$

Параметры приведенно-неприведенного трансформатора связаны соотношениями:

$$\dot{E}_1 = R_2' \dot{I}_2' + jx_{p2}' \dot{I}_2' + \dot{U}_2', \quad \text{го и торов}$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + \dot{I}_2'$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{10} + \dot{I}_2'; \quad \dot{I}_2' = \frac{\dot{I}_2}{n}; \quad R_2' = n^2 R_2;$$

$$x_{p2}' = n^2 x_{p2}; \quad Z_n' = n^2 Z_n \quad (13)$$

Схема замещения приведенного трансформатора изображена на рис. 12, в, а векторная диаграмма — на рис. 11, б. Число витков обеих его обмоток одинаково, что позволяет совместить их в одну. По этой обмотке протекает намагничивающий ток, обеспечивающий образование магнитного потока, который замыкается по сердечнику трансформатора.

Активная мощность, выделяемая в контуре намагничивания, определяется потерями в сердечнике трансформатора.

Параметры приведенной схемы замещения сравнительно легко определяются из режимов холостого хода и короткого замыкания; с ее помощью можно определить основные характеристики трансформатора.

Упомянутый режим холостого хода трансформатора не позволяет определить все параметры приведенной схемы замещения трансформатора. Поэтому завод-изготовитель на готовом трансформаторе проводит опыт «нормального» короткого замыкания.

7.4. Режим нормального короткого замыкания трансформатора

Вторичная обмотка при этом замыкается накоротко, а на первичную обмотку подаётся напряжение U такой величины, при которой ток первичной обмотки имеет номинальное значение. Величина U_k даже для трансформаторов малой мощности не превышает 10-25 % от номинального значения. Учитывая пропорциональную зависимость магнитного потока от напряжения, приложенного к первичной обмотке, и зависимость потерь в сердечнике трансформатора от квадрата магнитного потока, можно прийти к выводу, что в режиме «нормального» короткого замыкания потерями в сердечнике трансформатора можно пренебречь и считать показания ваттметра, включенного на входе трансформатора, соответствующими мощности потерь в активных сопротивлениях трансформатора. Это позволяет определить параметры схемы замещения приведенного трансформатора по формулам:

$$R_k = \frac{U_k \cos \varphi_k}{I_H}, \quad x_k = \frac{U_k \sin \varphi_k}{I_H},$$

$$\varphi_k = \arccos \frac{P_k}{U_k I_H} \quad (14)$$

Таким образом, с учетом x_0 и R_0 , которые определяются в режиме холостого хода, мы имеем все параметры приведенной схемы замещения трансформатора.

7.5. Внешняя (нагрузочная) характеристика трансформатора

Из приведенной схемы замещения трансформатора (рис. 12 в) следует, что

$$\dot{U}_1 = \dot{U}'_n + \Delta \dot{U}_{np} \quad (15)$$

отсюда находим выражение для вектора падения напряжения на трансформаторе:

$$\Delta \dot{U}_{np} = \dot{U}_1 - \dot{U}'_n = \dot{U}_1 - Z'_n \dot{I}'_2 \quad (16)$$

Модуль вектора падения напряжения на трансформаторе можно также получить, воспользовавшись выражением:

$$\Delta U \% = \beta(U_{ka} \cos \varphi + U_{kr} \sin \varphi) + \frac{\beta^2 (U_{kr} \cos \varphi - U_{ka} \sin \varphi)^2}{200}, \quad (17)$$

где $U_{ka} = \frac{I_{1ном} R_k}{U_{1ном}}$, $U_{kr} = \frac{I_{1ном} x_k}{U_{1ном}}$,

$I_{1ном}$, $U_{1ном}$ — номинальные ток и напряжение первичной обмотки;

$$\beta = \frac{I_1}{I_{1ном}} \quad (18)$$

здесь β — коэффициент нагрузки.

Вид внешней характеристики трансформатора определяется не только величиной нагрузки, но и ее характером. При увеличении тока нагрузки выходное напряжение трансформатора уменьшается при активном и активно-индуктивном и увеличивается при емкостном и активно-емкостном характерах нагрузки.

7.6. Коэффициент полезного действия трансформатора

Определение коэффициента полезного действия η трансформатора как отношение мощности выделяемой в нагрузке (P_n) к полной мощности (P_1), потребляемой из электрической сети, может привести к значительным ошибкам, так как разность ($P_n - P_1$) составляет, при КПД = 98%, всего лишь 2%, что соизмеримо с погрешностью измерительных приборов. Поэтому, согласно ГОСТ, величину КПД определяют косвенным способом:

$$\eta = \frac{P_n}{P_n + P_{xx} + P_k} \quad (19)$$

где P_{xx} , P_k — потери холостого хода и короткого замыкания.

2.8. Рабочие характеристики трансформатора

Рабочие характеристики трансформатора представляют собой зависимости коэффициента полезного действия, коэффициента мощности, тока в первичной цепи и напряжения на нагрузке от тока в нагрузке. Все эти зависимости рассчитываются на

основании приведенной схемы замещения (рис. 12 в). Характерный вид рабочих характеристик показан на рис. 13.

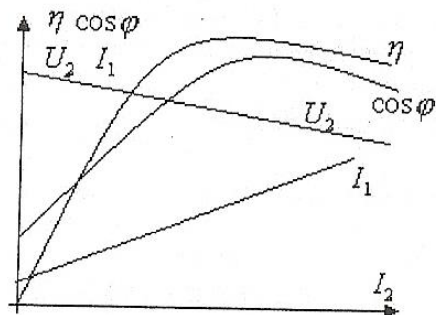


Рис.13. Рабочие характеристики трансформатора

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 5 НА ТЕМУ: ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

1. Цель работы

1.1. Изучить основные принципы импульсно-фазового управления преобразователем переменного напряжения в постоянное напряжение

1.2. Исследовать импульсно-фазовую систему управления тиристорного преобразователя (ТП)

1.3. Исследовать режимы работы двигателя постоянного тока при питании якоря от тиристорного преобразователя в зоне прерывистых и непрерывистых токов

2. Теоретическая часть

2.1. Система импульсно-фазового управления (СИФУ) преобразовательного устройства предназначена для генерирования и формирования импульсов управления определенной длительности и формы, распределения их по соответствующим фазам в многофазных системах и изменения момента подачи этих импульсов на управляющие электроды тиристорных преобразователей. В преобразовательных устройствах находят применение полупроводниковые приборы (СПП) - тиристоры, симисторы, полностью управляемые СПП - запираемые тиристоры GTO, IGCT, а также транзисторы IGBT.

Основной задачей СИФУ является преобразование аналогового сигнала в импульсные сигналы управления по углу, регулирование среднего выпрямленного напряжения $U_{тп}^д$ тиристорного преобразователя (ТП) в зависимости от уровня, полярности напряжения управления U_y , т.е. формирование выходного напряжения ТП в соответствии с уравнением:

$$U_{тп} = K * U_y, \quad (1)$$

где K - коэффициент передачи ТП, не зависящий от режима работы питающей сети и нагрузки в цепи выпрямленного тока. По принципу действия СИФУ подразделяются на:

1. Электронные (полупроводниковые), построенные на серийных интегральных микросхемах аналогового (дискретного) и цифрового типа с малой степенью интеграции.

В зависимости от того, как вырабатываются управляющие импульсы для каждого тиристора преобразователя - одним электронным блоком или отдельными блоками - системы управления подразделяются на одно - и многоканальные, а по способу изменения фазы управляющего импульса СИФУ подразделяются на горизонтальные и вертикальные.

2. Электромагнитные с использованием электромагнитных устройств, формирующих импульсы в момент перехода ферромагнитных материалов в насыщенное состояние. К таким системам можно отнести системы с пик-трансформаторами, пик-дросселями, импульсными насыщающимися

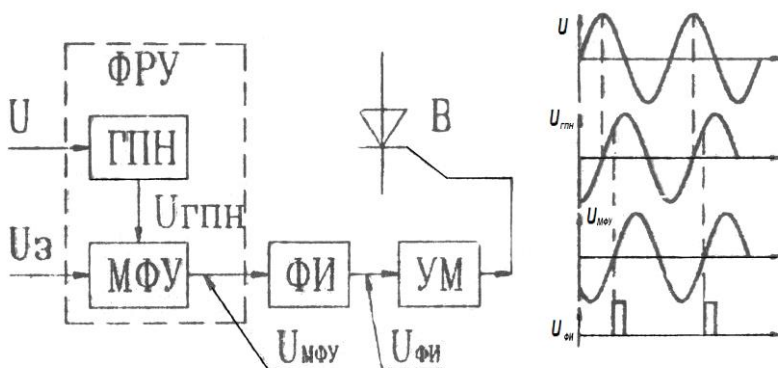
трансформаторами на базе сердечников с резко выраженным коленом кривой намагничивания (ППГ), однополупериодными магнитными усилителями.

Такие системы выпускались в 80 –е годы двадцатого столетия и до настоящего времени эксплуатируются в составе преобразователей технологического оборудования промышленных объектов.

Горизонтальный способ управления

При горизонтальном способе управления формирование управляющего импульса осуществляется в момент перехода синусоидального напряжения через нулевое значение, а изменение его фазы обеспечивается изменением фазы синусоидального напряжения управления, т.е. смещением его по горизонтали (оси времени t).

Генератор переменного напряжения ГПН выдает синусоидальное напряжение, находящееся в определенном фазовом соотношении с анодным напряжением тиристора В энергетического (силового) канала (рис. 1, а).



а)

Рис. 1 - Организация СИФУ

С выхода мостового фазовращательного устройства МФУ сдвинутое по фазе напряжение управления $U_{мфу}$ поступает на формирователь импульсов ФИ, где в момент перехода синусоиды через нулевое значение формируется импульс управления. Затем импульс управления $U_{фи}$ усиливается усилителем мощности УМ до значения, необходимого для надежного управления тиристора В по управляющему электроду. Угол сдвига фаз (рис.1, б) регулируется изменением напряжения задания U^3 , а ГПН и МФУ в совокупности образуют фазорегулирующее устройство ФРУ.

Горизонтальный метод управления не нашел широкого применения, т.к. мостовые фазовращательные устройства критичны к форме и частоте подаваемого напряжения, а использование в качестве активного регулируемого сопротивления транзисторов приводит к нарушению симметрии формируемых импульсов.

Вертикальный метод управления

При вертикальном методе управления формирование управляющего импульса производится в результате сравнения на нелинейном элементе величины переменного (синусоидального, пилообразного, треугольного) и постоянного напряжений. В момент, когда эти напряжения становятся равными, происходит формирование управляющего импульса управления тиристором В. Фазу импульса можно изменять, регулируя уровень постоянно-

го напряжения U^3 .

На рис.2, а приведена схема простейшего устройства, формирующего импульсы по вертикальному методу управления на управляющем электроде тиристора В.

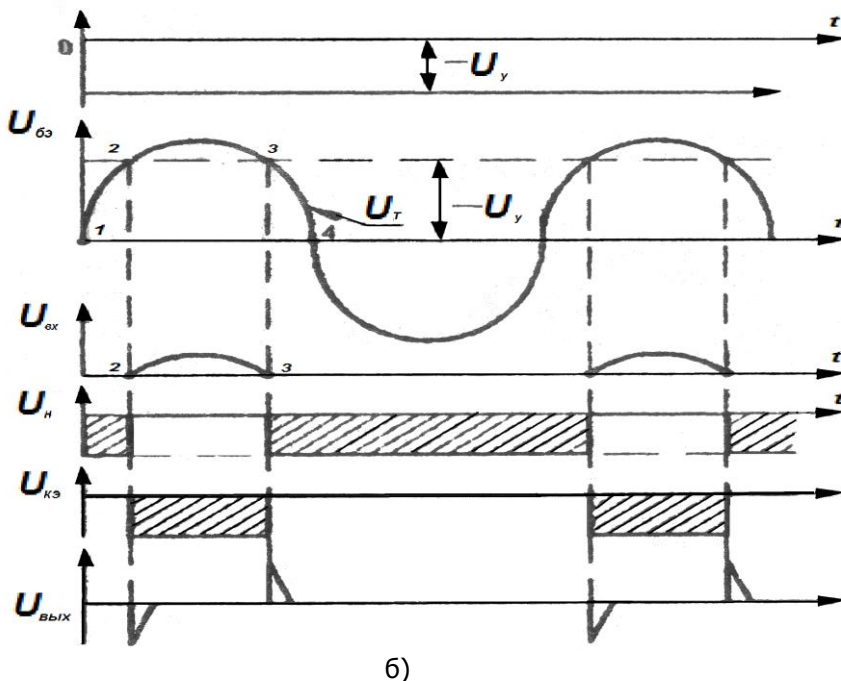
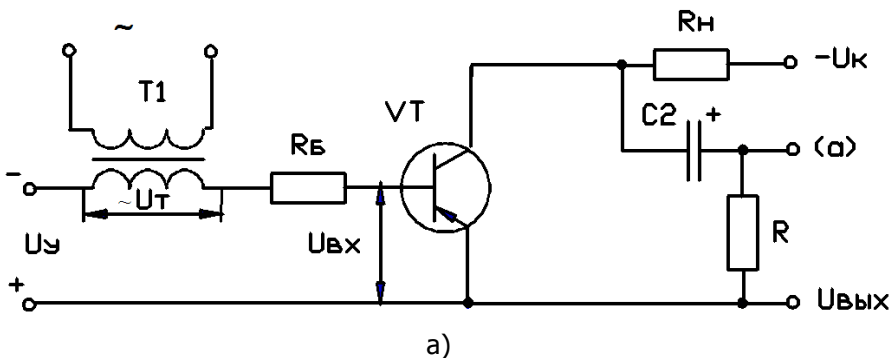


Рис. 2. Реализация принципа вертикального управления (а)

и

временные диаграммы формируемых напряжений (б).

Входное напряжение $U_{\text{вх}}$ транзистора VT в любой момент времени t определяется алгебраической суммой постоянного U_y и переменного U_T напряжений. Когда напряжение U_T изменяется по амплитуде от нулевого значения (точка 1) до значения U_y (точка 2, рис. 2,б), на базе транзистора VT присутствует отрицательный потенциал и транзистор открыт. Напряжение источника питания ($-U_K$) почти полностью приложено к нагрузке R_n .

В период времени, когда мгновенные значения напряжений $(U_T) = (U_y)$, что соответствует точкам 2-3, к участку эмиттер-база транзистора VT прикладывается разностное положительное напряжение синусоиды и транзистор VT закрывается (до точки 3).

В момент запираания транзистора VT напряжение ($-U_K$) прикладывается к RC-цепочке, составленной из резисторов R_n , R и конденсатора C_2 .

На резисторе R при заряде конденсатора C_2 формируется (при дифференцировании) отрицательный импульс напряжения (точка а). На участке 2-3 транзистор VT закрыт и к транзистору приложено напряжение ($-U_{KЭ}$). В т. 3, когда (U_T) становится несколько меньше ($-U_y$) транзистор VT открывается, разряжая конденсатор C_2 на резистор R . Импульсы, формируемые данным устройством, подаются затем на усилитель мощности УМ системы управления. Фаза этих импульсов изменяется при изменении величины постоянного напряжения U_y . По такому принципу построены одноканальные СИФУ.

2.3. Многоканальная система импульсно-фазового управления

Принцип построения структурной схемы многоканальной синхронной СИФУ можно пояснить на примере (рис. 3).

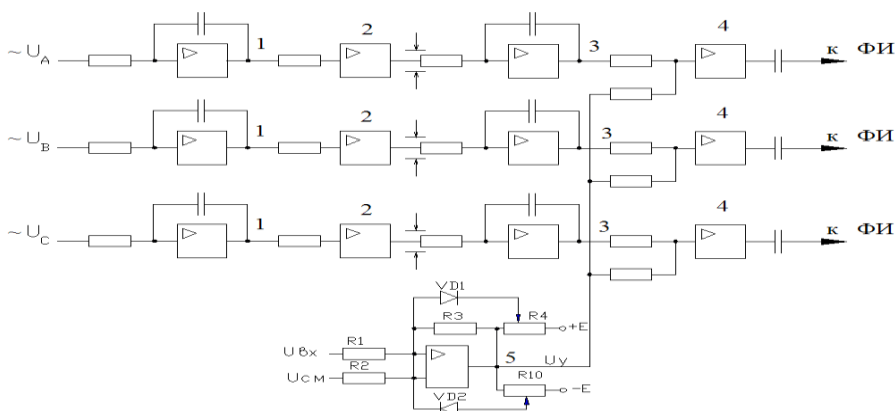


Рис. 3 - Структурная схема многоканальной СИФУ

Схема СИФУ построена на серийных интегральных микросхемах с малой степенью интеграции, включая активные сетевые фильтры на операционных усилителях 1, подключенные на вторичные обмотки 3-х фазного синхронизирующего трансформатора с пониженным напряжением 15-25 В фаз (U_a , U_b , U_c). Для исключения влияния амплитудных изменений напряжения сети на параметры пилообразного напряжения, получаемого с интегратора 3, напряжение с сетевого фильтра поступает на компаратор 2, преобразующий сигнал в двухполярное прямоугольное напряжение. После интегратора 3 пилообразное развертывающее напряжение сравнивается на входе компаратора 4 с напряжением управления U_y . В момент их равенства с выхода компаратора 4 подается импульс на формирователь выходного импульса ФИ. Согласующий усилитель 5 является общим для всех каналов и инвертирующим. Передаточный коэффициент усилителя внутри пределов ограничения составит:

$$K = \frac{\Delta U_y}{\Delta U_{ax}} \approx \frac{R3}{R1} \quad (2)$$

При достижении напряжением U_y значения, устанавливаемого на потенциометрах R4 и R5 для разных полярностей напряжения U_y , открывается цепь одного из диодов VD1 или VD2 в зависимости от полярности напряжения U_y . После этого переда-

точный коэффициент становится равным:

$$K' = \frac{\Delta U_y}{\Delta U_{\text{вх}}} \approx \frac{R_4}{R_1} \quad (3)$$

Обычно расчетное значение $R_1 \gg R_4$ и характеристика "вход-выход" в зоне «ограничения» имеет малый наклон по отношению к оси $U_{\text{вх}}$.

Смещение характеристики "вход-выход" усилителя осуществляется введением в цепь управления напряжения смещения $U_{\text{см}}$.

В общем случае при синхронном способе формирования угла управления (угол подачи α_i для i — го импульса управления) определяется выражением:

$$\alpha = \alpha_n + \frac{2\pi}{p} (i-1) + Q_i(U_y) \quad (4)$$

где α_n - угол начала отсчета фазы по отношению к напряжению сети;

p - число пульсаций преобразователя;

Q_i - регулируемый угол задержки, равный $Q_i = \omega \cdot t_i$,

$i=1,2,\dots$;

ω - угловая частота сети, рад $\cdot \text{с}^{-1}$;

t - время.

Исследование одноканальной однофазной СИФУ

1. Исследование одноканальной СИФУ (рис.4.) проводится на лабораторном стенде, собранной по схеме ТП-ДПТ. При этом предполагается изучение работы электронных узлов, определение назначения каждого функционального элемента, его взаимодействие с другими элементами схемы.

С помощью осциллографа выполнить исследование форм импульсных напряжений в каждой контрольной точке КТ электрической схемы, зарисовать и пояснить эпюры напряжений с привязкой к временной координате. На основании принципа работы СИФУ составить временные диаграммы работы электронных узлов схемы и дать краткие пояснения к работе электронных узлов и схемы в целом.

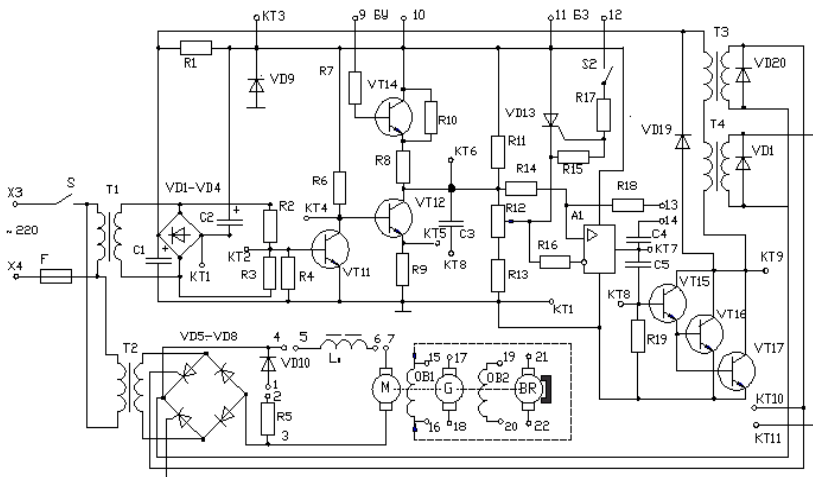


Рисунок 4.

2. Выполнение исследований по влиянию индуктивности сглаживающего дросселя L_c на коэффициент пульсации ток якоря проводить также осциллографическим методом. Пояснить физическую сущность влияния введенной L^c на характер прерывистых и непрерывных токов цепи якоря.

Перечень контрольных вопросов

1. Какими особенностями обладают СИФУ с вертикальным принципом формирования управляющих импульсов для СПП ?
2. Почему повышенные требования предъявляются к параметрам конденсаторов контуров интегрирования при формировании пилообразного напряжения ?
3. Поясните физические основы работы схемы и возможности управления скоростью ДПТ при поступлении сигналов от блока управления БУ ?
4. Как можно остановить движение ПР (МС) при срабатывании концевого датчика движения S2 ?

Тесты для проверки готовности студента к выполнению лабораторной работы

1. Постоянная времени разряда конденсатора СЗ (в схеме рис.4) зависит от внутреннего сопротивления открытого транзистора VT 12, что сопровождается:

- изменением диапазона угла управления α ,
- угол управления при этом увеличивается ;
- угол управления при этом уменьшается.

2. При какой форме пилообразного напряжения на выходе СИФУ будет сформировано пониженное напряжение на выходе ТП:

- выпуклая кривая нарастающего напряжения на выходе интегратора,
- нарастающее напряжение изменяется линейно;
- вогнутая кривая на выходе интегратора напряжения.

3. Зона управляемости ТП по минимальному току нагрузки определяется рядом параметров:

- значением статического момента, изменяемого от 0 до $M_c = M_c \text{ ном.}$,
- суммарным током цепи якоря больше тока удержания тиристора;
- токами удержания включенных тиристоров в схему преобразователя

4. На надежное управление тиристорами ТП влияет ряд факторов. При каких условиях можно ожидать уверенное открытие тиристора:

- когда ширина управляющего импульса составляет 10° эл,
- ширина управляющего импульса меньше угла сдвига фаз тока и напряжения силового контура;
- ширина управляющего импульса больше угла сдвига фаз тока и напряжения силового контура.

Требования к отчету

Отчет должен содержать:

- Название лабораторной работы, Ф.И.О. студента, номер группы.
- Цель исследования.

Робототехника и мехатроника

- Принципиальную электрическую схему однофазной СИФУ.
 - Временные диаграммы напряжений и токов в контрольных точках.
 - Внешние характеристики тиристорного преобразователя.
 - Электромеханические характеристики ДПТ для углов управления $\alpha = 30, 60, 90$ град. эл. в зоне прерывистых и непрерывных токов.
 - Диаграммы прерывистых токов, пояснения к ним.
- Выводы по результатам выполненной работы.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 6 НА ТЕМУ: ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ДВИГАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1. Цель работы

Целью работы является изучение принципа работы силового полууправляемого прибора (СПП) - тиристора, схемотехнического построения на базе тиристорных двухполупериодного выпрямителя с управлением от СИФУ посредством фазоуправляемого устройства смещения импульсов управления, также исследование внешних характеристик ТП при работе на активную и индуктивную нагрузки в зонах непрерывных и прерывистых токов.

2. Описание лабораторной установки

В лабораторной работе исследуется тиристорный выпрямитель с импульсно-фазовым способом управления.

Управляемый выпрямитель, принципиальная схема которого показана на рис.1, конструктивно состоит из двух блоков: блока управления и силового блока.

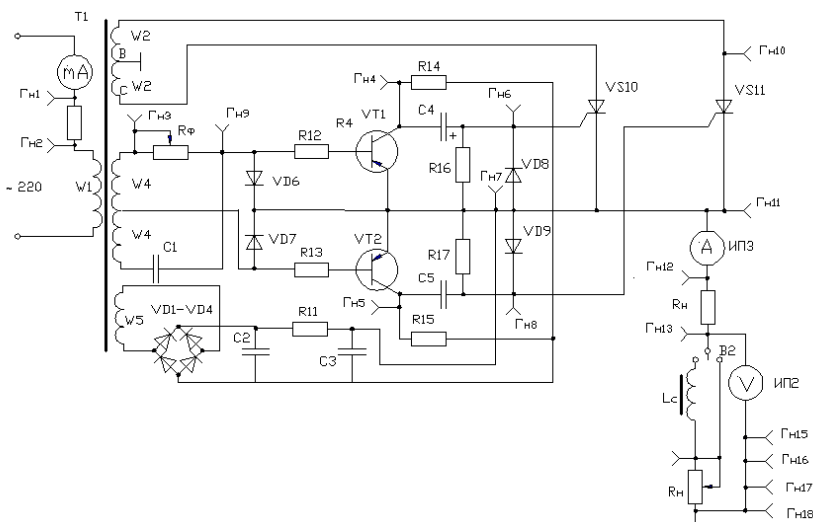


Рисунок 1- Принципиальная схема управления двухполупериодного ТП

В блок управления входят: фазовращающий мост, состоящий из двух половин обмотки W_4 , силовой трансформатор T_1 с фазовращающей $R_{\phi}C_1$ - цепочкой; а также формирователь управляющих импульсов тиристорами

VS_{10}, VS_{11} . Формирователь управляющих импульсов состоит из транзисторов VT_1 и VT_2 , попеременно работающие в ключевом режиме, осуществляя дифференцирование сигналов в цепи C_4R_{16} и C_5R_{17} . Диоды VD_6 и VD_7 выполняют задачу «фазирования» напряжений на силовых обмотках W_2 и переменного напряжения на обмотках управления W_4 , а также обеспечивают температурную стабилизацию транзисторов и их поочередное открывание.

Силовой блок представляет собой обычную двухполупериодную схему выпрямления переменного напряжения через СПП в постоянное напряжение со средней точкой вторичной обмотки W_2 силового трансформатора T_1 .

В качестве силовых полупроводниковых приборов (СПП) используются полууправляемые тиристоры VS_{10} и VS_{11} .

При изменении сопротивления резистора фазовращателя R_{ϕ} изменяется фаза синусоидального напряжения управления

(клеммы Гн 4 – Гн 9), которое поступает на вход формирователя импульсов, собранном на транзисторах VT_1 и VT_2 . Диоды VD_6 и VD_7 обеспечивают поочередное открывание транзисторов соответственно положительной и отрицательной полуволнам выходного напряжения U_{1-2} . Предварительная зарядка конденсаторов C_4, C_5 осуществляется от диодного моста VD_1-VD_4 через резисторный П-образный RC –фильтр (C_2, R_{11}, C_3), резисторы R_{14}, R_{15} . При поступлении на базы транзисторов VT_1 и VT_2 управляющих в противофазе сигналов на цепи соответственно C_4R_{16} и C_5R_{17} подается напряжение практически прямоугольной формы. В результате дифференцирования на резисторах R_{16} и R_{17} формируются короткие импульсы отрицательной и положительной полярности. Импульсы отрицательной полярности сглаживаются диодами VD_8 и VD_9 , а положительные управляющие импульсы запирают диоды VD_8, VD_9 и подаются на управляющие электроды тиристоров VS_{10} и VS_{11} . Углы фаз управляющих импульсов, а следовательно, и величина выходного напряжения U_n , могут изменяться и определяются значением сопротивления резистора R_ϕ (положением рукоятки переключателя R_ϕ), которое в совокупности с резисторами R_{12} и R_{13} выполняет ограничение тока баз транзисторов VT_1 и VT_2 .

Все необходимые измерения выполняются контрольно-измерительными устройствами, осциллографом и вольтметром переменного тока, а результаты исследований заносятся в таблицу измерений № 1.

Таблица №1.

| Положение переключателя R_ϕ | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Величины сопротивления фазовращателя R_ϕ , кОм | | 15 ,7 | 6 ,6 | 3 ,3 | 1 ,8 | 1 ,5 | 1 ,1 | 0 ,8 |
| Угол регулирования, Θ | Расчетный | | | | | | | |
| | Экспериментальный | | | | | | | |
| Среднее значение напряжения на нагрузке U_n , В | $R_n = 20 \text{ Ом}$ | | | | | | | |
| | $R_n = 120 \text{ Ом}$ | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|--|------------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| Среднее значение выпрямленного тока I_n, A | $R_n = 20 \text{ Ом}$ | | | | | | | |
| | $R_n = 120 \text{ Ом}$ | | | | | | | |
| Среднее значение напряжения при RL нагрузке U_n, B | $R_n = 20 \text{ Ом}$ | | | | | | | |
| | $R_n = 120 \text{ Ом}$ | | | | | | | |
| Среднее значение выпрямленного тока при RL нагрузке U_n, B | $R_n = 20 \text{ Ом}$ | | | | | | | |
| | $R_n = 120 \text{ Ом}$ | | | | | | | |

3. Порядок выполнения работы

1. Перед включением стенда зафиксировать в исходном положении все органы управления (нейтральное и начальное). Самостоятельно подобрать измерительные приборы, подготовить их к включению, выбрав пределы измерений.

2. Изучить устройство и работу схемы.

3. Снять и построить экспериментальную и расчетную градуировочные характеристики фазовращателя $\Theta_{\text{экс}} = f(R_\phi)$ и $\Theta_{\text{рас}} = f(R_\phi)$, т.е. определить углы сдвига фазы управляющих импульсов для каждого положения переключателя R_ϕ .

Экспериментально угол Θ определяется с помощью осциллографа. Методика определения угла Θ заключается в развертывании на экране осциллографа одного полупериода анодного напряжения длительностью 180 град. электр. при длине полупериода 100 мм. Изменяя значение резистора R_ϕ , можно по изменению угла управления построить искомую зависимость. Расчетным путем угол Θ может быть определен по формуле

$$(1) \quad \Theta_{\text{рас}}^{\circ} = -2 \arctg R_\phi \omega C_1$$

где R_ϕ – активное сопротивление плеча моста фазовращателя, задаваемое с помощью переключателя R_ϕ (см. таблица № 1);

C_1 – емкость конденсатора, равная 2 мкф; Ω – круговая частота.

Полученные измеренные и расчетные данные занести в соответствующие строки таблицы №1.

4. Снять и построить регулировочную характеристику выпрямителя $U_n = f(\Theta^{\circ})$ и $I_n = f(\Theta^{\circ})$ при активной нагрузке.

Это задание выполняется одновременно с предыдущим. На каждом положении регулятора R_{ϕ} измеряются средние значения выпрямленного напряжения U_n (по вольтметру ИПЗ) для двух значений сопротивлений нагрузки $R_n = 20 \text{ Ом}$ и $R_n = 120 \text{ Ом}$.

Активная нагрузка включается тумблером B_2 (положение R). Величины угла Θ контролируются по осциллографу.

5. Снять и построить регулировочную характеристику выпрямителя при смешанной (активно – индуктивной) нагрузке. Для этого тумблер B_2 установить в положение «RL». Действуя аналогично пункту 4, выполнить измерения и построить регулировочную характеристику.

Результаты наблюдений заносятся также в таблицу №1.

6. При помощи осциллографа заставить стабилизировать искомую зависимость, пояснить полученные формы кривых напряжений при активной и смешанной нагрузках с привязкой диаграмм к временной оси для двух значений углов регулирования (например, 0 и 90 эл. градусов):

а) на коллекторах транзисторов VT_1 и VT_2 (Гн 4, Гн 5 – Гн 11);

б) на аноде тиристора VS_{10} , VS_{11} соответственно (Гн12 – Гн18);

в) на управляющем электроде тиристоров VS_{10} и VS_{11} (Гн 6, Гн 8, Гн 18);

г) напряжение между анодом и катодом тиристора VS_{11} (Гн 10 – Гн 11);

д) напряжение на нагрузке (Гн 11 – Гн 18);

7. Измерить коэффициент пульсации выходного напряжения для двух значений угла сдвига фазы управляющих импульсов и двух значений нагрузки.

Например, для $\Theta^\circ = 30^\circ$ и $\Theta^\circ = 90^\circ$, и $R_n = 20 \text{ Ом}$ и $R_n = 120 \text{ Ом}$.

Для каждого значения R_n и Θ_n вольтметром переменного тока с закрытым входом (через емкость) измеряется напряжение переменной составляющей, действующее на выходе выпрямителя U (в нашем случае второй гармоники), а вольтметром постоянного тока – среднее значение выпрямленного напряжения U_{cp} и вычисляется коэффициент пульсаций.

8. Оценить погрешность измерений.

4. Вопросы для самостоятельной проработки

1. Какой элемент схемы ограничивает минимальный ток якоря при управлении напряжением на ДПТ при регулировании скорости ?

2. Поясните физические основы возможности регулирования угла управления при изменении параметра R_{ϕ} с использованием диаграммы напряжений в RLC-цепи ?

3. Какие параметры (координаты) схемы изменились при регулировании угла управления (Θ° эл.) тиристором ?

4. Что произойдет в схеме, если увеличить (уменьшить) значение резисторов R_{14}, R_{16} ?

5. Тесты для проверки степени усвоения материала

1. При управлении тиристорами VS_{10} и VS_{11} возможны случаи управления различными по ширине импульсами управления, что может привести к сбою работы управляемого выпрямителя. Какие мероприятия следует выполнить для выравнивания управляющих импульсов по ширине?

- Уменьшить значение-параметр резистора R_{14}, R_{16} .
- Увеличить значение емкости конденсатора C_4, C_5 .
- Уменьшить значение резистора R_{15}, R_{17} .

2. В цепь протекания тока якоря ДПТ для снижения коэффициента пульсации в ТП устанавливается сглаживающий дроссель. Поясните, в каком случае целесообразнее установить сглаживающий дроссель с воздушным зазором δ при:

- изменении тока в широком диапазоне,
- изменении тока не более 0,5 от номинального значения;
- изменении тока в пределах номинального значения тока якоря.

3. Напряжение на анодах тиристоров VS_{10} и VS_{11} должно соответствовать полярности управляющих импульсов. Когда ТП будет нормально регулировать выходное напряжение на ДПТ?

- при изменении (очередности) или (фазности) подсоединения выводов вторичной обмотки W_2 ,
- управляющие импульсы «сфазированы» с анодным

напряжением;

- управляющие импульсы не «сфазированы» с анодным напряжением;

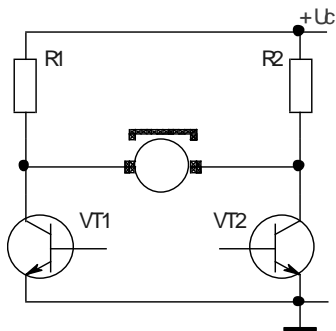
6. Требования к написанию отчета

Оформленный и представленный к защите отчет должен содержать:

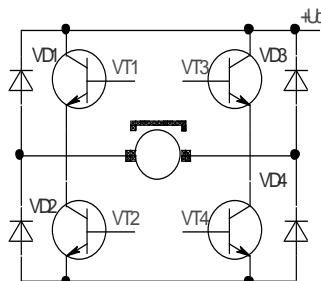
- 6.1. Цель работы
- 6.2. Принципиальную электрическую схему исследуемого двухполупериодного тиристорного выпрямителя
- 6.3. Таблицу выполненных наблюдений и экспериментально полученных данных
- 6.4. Графики построенных зависимостей в соответствии с порядком выполнения работы
- 6.5. Заключение по результатам исследований.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 7 НА ТЕМУ: ИССЛЕДОВАНИЕ ШИРОТНО- ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПО СХЕМЕ ШИП-ДПТ

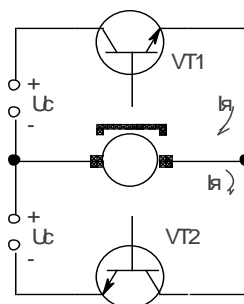
В современном электроприводе распространение имеют реверсивные ШИП, транзисторные варианты которых представлены на рисунке 1.



а)



б)

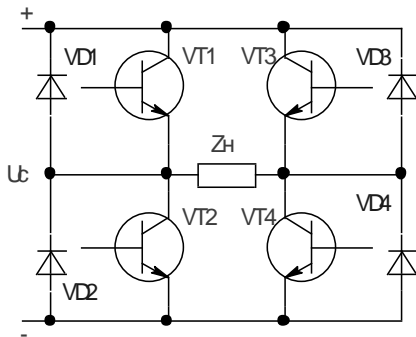


в)

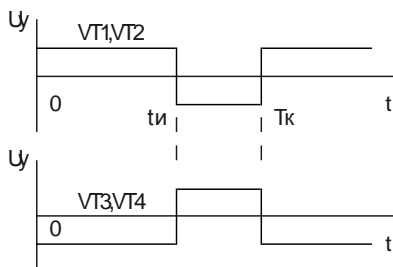
Рисунок 1. Схемотехнические решения ШИП

Транзисторный реверсивный ШИП может быть выполнен на двух и четырех транзисторах по мостовой схеме с одним источником и двумя источниками питания.

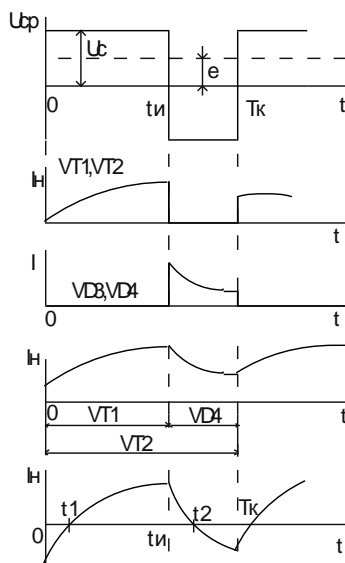
Рассмотрим работу реверсивного ШИП (рисунок 2,а). В этой схеме возможны несколько способов управления транзисторами.



а)



б)



в)

Рисунок 2. Схема ШИП - (а). Эпюры напряжений и токов - (б, в)

При симметричном управлении транзисторы в схеме отпираются попарно VT1 и VT2 или VT3 и VT4.

Когда отперты транзисторы VT1 и VT2 (интервал $0 \leq t \leq t_{и}$) от источника питания потребляется энергия (рисунок 2,6). При запираании транзисторов VT1, VT2 и отпирании VT3, VT4 (момент $t = t_{и}$) напряжение на активно-индуктивной нагрузке реверсируется, а ток нагрузки за счет ЭДС самоиндукции E сохраняет свое прежнее направление, замыкаясь через диоды VD3, VD4 и источник питания.

Среднее значение напряжения на нагрузке

$$U_{cp} = U_c (2\gamma - 1), \quad (1)$$

Если ШИП работает на противо – ЭДС (e), то есть на якорь ДПТ, то

$$U_{cp.д.} = U_c [2\gamma - 1 - (I / U_c)] \quad (2)$$

Простота реализации и отсутствие зоны нечувствительности в регулировочной характеристике являются преимуществами такого ШИП.

Недостатком Шип с симметричным управлением является знакопеременное напряжение, повышенный коэффициент пульсаций на нагрузке. Поэтому реверсивный ШИП с симметричным управлением применяется только в маломощных мехатронных системах.

При несимметричном управлении переключаются транзисторные ключи фазной группы VT1 и VT4 (или VT2 и VT3 при реверсе выходного напряжения) управляются в противофазе, а транзисторы другой фазы : VT2 постоянно отперт, другой VT3 – заперт. На нагрузке формируется напряжение, имеющее форму знакопостоянных импульсов. Если нагрузка ШИП активно – индуктивная, то на интервале $0 \leq t \leq t_{и}$ ток потребляется от источника питания и протекает через транзисторы VT1 и VT2. Когда транзистор VT1 запирается (момент времени $t_{и}$), то ток нагрузки $i_{и}$ протекает через отпертый транзистор VT2 и обратный диод VD4 (интервал $t_{и} \leq t \leq T_k$).

Если нагрузкой является ДПТ, то при $U_n > e$ энергия потребляется от источника питания. Ток нагрузки на интервале $0 \leq t \leq t_n$ через транзисторы VT1 и VT2, а на интервале $t_n \leq t \leq T_k$ - через транзистор VT2 и обратный диод VD4. Если $\gamma = \text{const}$, а скорость ДПТ изменяется, то для случая, когда $e > U_{\text{ср.д.}}$, направление тока нагрузки изменится. Когда открыт транзистор VT4, электромагнитная энергия якоря накапливается под воздействием противо-ЭДС, и при запираии транзистора VT4 отдается в источник питания через диоды VD1 и VD2 (рисунок 2, в).

Режим переменных токов в нагрузке возможен при $e \approx U_c \cdot \gamma$: на интервале $0 \leq t \leq t_1$ ток протекает через обратные диоды VD1 и VD2; на интервале

$t_1 \leq t \leq t_n$ - через транзисторы VT1 и VT2; на интервале $t_2 \leq t \leq t_2$ - через транзистор VT2 и обратный диод VD4; на интервале $t_2 \leq t \leq T_k$ - через транзистор VT4 и обратный диод VD2 (рисунок 2, в). Анализ временных диаграмм показывает, что при нагрузке с противо-ЭДС в режиме потребления наиболее загруженными являются транзисторы, а в режиме возврата энергии (рекуперации) - диоды. Коэффициент пульсации выходного напряжения при несимметричном управлении в два раза меньше, чем при симметричном управлении и равен :

$$K_n = \frac{\Delta U_n}{U_c} = \frac{2(1 - b_1^{-1})(1 - a_1 \cdot b_1)}{1 - a_1} \quad (3)$$

где $a_1 = e^{-T_k/T_n}$, $b_1 = e^{t_u/T_n}$, $T_n = \frac{\alpha_H}{R_H}$

При поочередном управлении в состоянии переключения находятся все четыре транзисторных ключа моста, однако частота переключения каждого из них в два раза меньше частоты напряжения на выходе. При одной полярности выходного напряжения на нагрузке поочередно отпираются транзисторы VT1 и VT2 (транзисторы VT3 и VT4 при этом все время заперты). При обратной полярности выходного напряжения включаются транзисторы VT3 и VT4, а транзисторы VT1 и VT2 закрыты. При этом выходное

напряжение имеет форму знакопостоянных импульсов (рисунок 7, в). При запираии транзистора VT1 (время $t_{и}$) ток нагрузки под действием ЭДС самоиндукции замыкается через транзистор VT2 и обратный диод VD4. На интервале $t_{и} \dots T_k$ выходное напряжение равно нулю, так как нагрузка шунтируется транзистором VT2 и диодом VD4.

Рассмотренные способы управления транзисторами ШИП позволяют констатировать, что при симметричном и несимметричном управлениях наблюдается двухсторонний обмен энергией между источником питания и нагрузкой, а при поочередном управлении обмен энергией отсутствует.

Управление ШИП осуществляется широтно-импульсным модулятором (ШИМ), где происходит преобразование непрерывного исходного сигнала в последовательность прямоугольных импульсов неизменной амплитуды и частоты, но переменной длительности, пропорциональной управляющему (входному) сигналу. ШИМ содержит задающий генератор опорного пилообразного напряжения, имеющий частоту $f_0 = 1/T_k$. Опорное напряжение $U_{оп}$ сравнивается (рисунок 3) с управляющим (входным) напряжением U_y . В момент равенства указанных напряжений устройством сравнения (компаратором на операционном усилителе) формируется управляющий импульс, переключающий транзисторные ключи. Такие устройства, реализующие ШИМ, называют модуляторами длительности импульсов (МДИ).

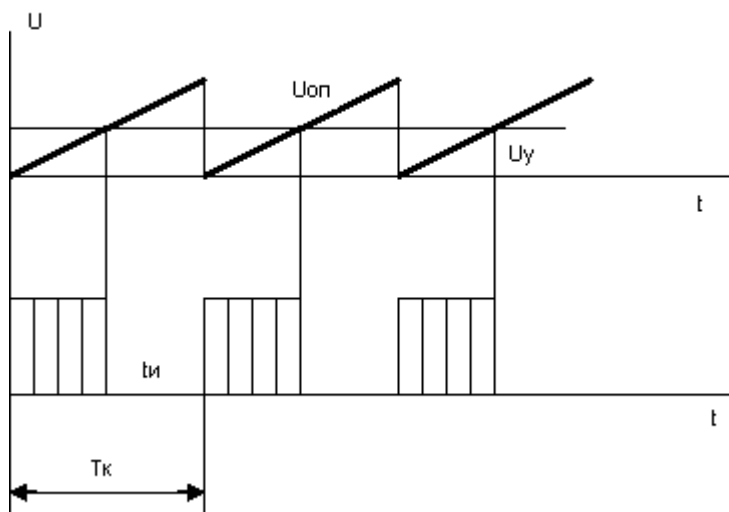


Рисунок 3

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка выполнена в виде переносного стенда, на передней панели которого приведена принципиальная схема (рисунок 5). Схема условно поделена на шесть функционально законченных блоков:

- блок Б1 – задающий генератор прямоугольных импульсов (контрольная точка (к.т.) КТ1), реализован на трех логических элементах И-НЕ микросхемы Д1 (серии К511.ЛА2). Частота f_k регулируется изменением резистора R1 ;
- блок Б2 – интегратор, предназначен для преобразования прямоугольного сигнала в пилообразный (к.т. КТ2), реализован на операционном усилителе ДА1 (серии К153 УД1) ;
- блок Б3 – модулятор длительности импульсов (МДИ), устройство, имеющее два входа. На один (неинвертирующий) вход подается периодический пилообразный сигнал, на другой – управляющий. Блок выполнен на

аналоговой микросхеме ДА2 (серии К 153 УД1), контрольная точка КТ4. Регулирование скорости, реверс двигателя осуществляется потенциометром R9 ;

- блок Б4 – инвертор, формирует два инвертированных сигнала, необходимых для управления предварительными усилителями мощности и реверса двигателя. Блок выполнен на логическом элементе И-НЕ микросхемы Д2 серии К 511 ЛА2. Контрольные точки КТ5, КТ6 ;

- блок Б5 – содержит согласующие каскады, выполненные на операционных усилителях ДА3, ДА4 (К 153УД1), работающие в ключевом режиме ;

- блок Б6 – выходные импульсные усилители мощности, усиливающие сигналы с блока Б5 в мощный сигнал, снимаемый с ключевых транзисторов VT3 и VT6 для управления ДПТ (М).

Рассмотрим структуру и работу импульсного усилителя мощности (ИУМ, рисунок 4).

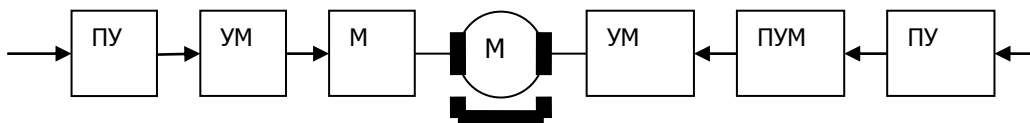


Рисунок 4. Структура построения импульсного усилителя мощности

ИУМ состоит из двух трехкаскадных устройств, каждый собран по схеме предварительного усилителя (ПУ), выполненного на транзисторе VT1, VT4 (рисунок 5), предоконечного усилителя мощности (ПУМ) на транзисторе VT2 (VT5), служащего для согласования мощного усилительного каскада (УМ), выполненного на транзисторе VT3 (VT6). Все транзисторы усилительных каскадов работают в ключевом режиме.

Проанализируем работу импульсного усилителя мощности. Предположим, что на входы предварительных усилителей (ПУ) (точки КТ7 и КТ8) поступают прямоугольные импульсы положительной полярности с коэффициентом заполнения $q = 0,5$.

Это ведет к открыванию всех транзисторов (VT1, VT2, VT3 и VT4, VT5, VT6). На вход двигателя М (точки КТ9, КТ10) приходит усиленный сигнал с $q = 0,5$. При равенстве средних значений напряжений в контрольных точках КТ9 и КТ10 якорь двигателя уравнивается, $\omega = 0$. Если в процессе регулирования напряжения управления на вход транзистора VT1 (точка КТ7) поступает положительный импульс с коэффициентом заполнения 0,1, то на вход транзистора VT4 (точка КТ8) поступает сигнал с $q = 0,9$. Импульсы, усиленные ИУМ, подаются на обмотку якоря двигателя. В обмотке якоря двигателя импульсы формируют суммарное (интегральное) значение напряжения, под воздействием которого якорь двигателя приводится во вращение. Направление вращения определяется и зависит от скважности импульсов, формируемых МДИ. Измерение скорости вращения якоря двигателя осуществляется тахометрическим способом или посредством фотоэлектрического датчика и частотомера.

Подготовка к выполнению лабораторной работы

1. Ознакомиться с описанием лабораторной установки.
2. Изучить принципы работы измерительной аппаратуры.
3. Подключить вилки питания стенда, осциллографа, частотомера к розеткам (~ 220 В, 50 Гц).
4. Включить тумблеры "Сеть" осциллографа, электронно-счетного частотомера и прогреть приборы в течение 15 минут.
5. Включить тумблер "Сеть" стенда.

Выполнение экспериментальной части лабораторной работы

1. Установить ручку регулятора (потенциометр R9) частоты вращения якоря двигателя в нулевое положение.
2. Включить источники питания лабораторного стенда.
3. Корпусный конец соединительного кабеля осциллографа подсоединить к корпусной контрольной точке схемы стенда (КТ0). Поочередно подключая кабель осциллографа к

контрольным точкам КТ1...КТ10, снять эпюры напряжений с учетом масштабного делителя осциллографа. Эпюры напряжений привести в отчете.

4. Подключить осциллограф к контрольной точке КТ1 и замерить частоту следования импульсов. Результаты записать при крайнем левом и правом положениях движка потенциометра R1. Контроль измерений выполнить с помощью частотомера.

5. Изменяя положение движка потенциометра R9 определить диапазон регулирования скорости вращения вала при реверсе двигателя :

$$\dot{A} = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} .$$

Для этого, при нахождении ручки “об/мин” в нулевом положении (движок потенциометра R9) добиться нулевого показания частотомера при остановленном диске двигателя. Затем, плавно изменяя положение движка R9, установить минимальные равномерные обороты выходного вала двигателя, измерить частоту вращения частотомером и результаты занести в отчет ($n_{\min} = \dots$). Затем устанавливают максимальную частоту вращения вала двигателя по частотомеру и результат измерений заносят в отчет ($n_{\max} = \dots$). Определяют диапазон регулирования скорости D.

6. Сравнить диапазоны регулирования скорости двигателя при вращении якоря по часовой, затем против часовой стрелки.

7. Определить линейность широтно-импульсного регулятора, т.е. зависимость $n = f(t_1)$ правого и (t_1') левого вращения якоря двигателя.

Для выполнения задания по п. 7 необходимо подсоединить кабель осциллографа к контрольной точке КТ9. Установить минимальную устойчивую частоту вращения двигателя. Произвести измерение длительности импульсов t_1 (по осциллографу) и число оборотов “П” (по частотомеру, тахогенератору). Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

| Параметр | № измерения | | | | | | |
|--------------|-------------|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| n , об/мин | | | | | | | |
| t_1 (с) | | | | | | | |
| t'_1 (с) | | | | | | | |

Изменяя скорость вращения якоря двигателя на 10-15% от n_{\min} в сторону увеличения, произвести 6-7 измерений от n_{\min} до n_{\max} и данные занести в таблицу 1. Аналогичные измерения произвести для контрольной точки КТ10 при реверсировании двигателя. Данные результата эксперимента также занести в таблицу 1.

8. Построить зависимости $n = f(t_1)$ по данным таблицы 1. Дать анализ полученных графических зависимостей, записать выводы.

9. Снять механические характеристики системы ШИП-ДПТ при изменяющейся скважности импульсов $\gamma = 0,1 - 0,9$ (в пределах 0,1 – 1,0). При этом значение γ следует контролировать осциллографом, в момент нагружения двигателя (ток якоря $I_{я}$) устройством торможения (или амперметром в цепи якоря). Результаты эксперимента необходимо занести в таблицу 2.

Таблица 2.

| Скважность импульсов | Угловая скорость / ток якоря | | | | |
|----------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 0 | $\frac{\omega_1}{I_1}$ | $\frac{\omega_2}{I_2}$ | $\frac{\omega_3}{I_3}$ | $\frac{\omega_4}{I_4}$ | $\frac{\omega_5}{I_5}$ |
| 0,1 | | | | | |
| 0,3 | | | | | |

| | | | | | |
|-----|--|--|--|--|--|
| 0,5 | | | | | |
| 0,7 | | | | | |
| 0,9 | | | | | |
| 1 | | | | | |

10. По данным таблицы 2 построить графические зависимости

$$\omega = f(I_{\gamma}) \text{ при } \gamma = 0,1 - 1,0 .$$

Перечень контрольных вопросов по лабораторной работе

1. Как изменится форма выходного напряжения интегратора при увеличении емкости С3 конденсатора в 3 раза?
2. Что изменится при работе ШИП-преобразователя, если резистор R1 уменьшить в 2 раза ?
3. Как изменится форма нарастания пилообразного напряжения на выходе интегратора, если конденсатор С3 имеет повышенный ток утечки ?
4. На какой параметр работы схемы повлияет увеличение резистора R16 в 3 раза ?
5. Поясните физические основы формирования разнополярного напряжения на якоре ДПТ при питании его в схеме от однополярного источника ?

Тесты для проверки готовности студента к выполнению лабораторной работы

1. Работа ШИП-преобразователя основана на следующем положении:
 - в процессе работы изменяется коэффициент заполнения ?
 - в процессе работы изменяется время цикла ?
 - в процессе работы изменяется частота коммутации силовых ключей ?

2. Какие факторы влияют на формирование выходного напряжения ШИП-преобразователя?

- индуктивность $L_{я}$,
- суммарная индуктивность контура якоря ДПТ,
- скорость переключения СПП ?

3. Какой из способов управления СПП ШИП-преобразователя считается наиболее предпочтительным по минимуму формирования прерывистости тока якоря:

- симметричное ?
- несимметричное ?
- поочередное управление?

Содержание отчета

1. Цель и задачи исследования.
2. Функциональная схема ШИП.
3. Временные диаграммы напряжений в контрольных точках схемы широтно-импульсного преобразователя.

4. Зависимости $n = f(t_1)$ для реверсивного режима работы ДПТ.

5. Зависимости $\omega = f(I_{я})$ для разных значений γ .

6. Выводы.

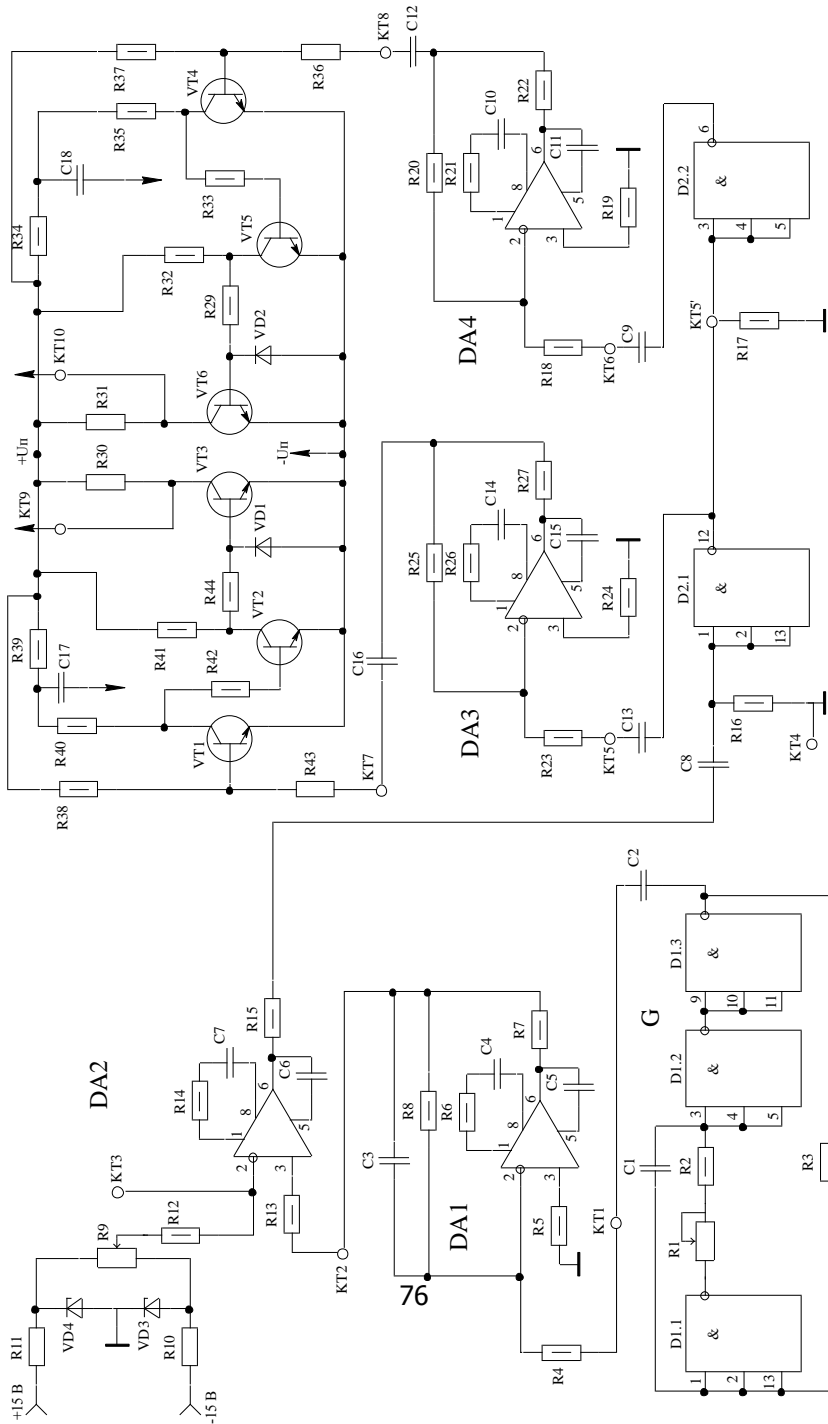
Литература

1. Герман-Галкин С.Г. и др. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями. – Л., Энергоатомиздат, 1986, 248 с.

2. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. М.: Высшая школа, 1982.

3. Янкелевич Д.И., Карнаухов Н.Ф. Современный автоматизированный электропривод робототехнических систем. Метод. Указания ИПК и ПК Минавтосельхозмаша, 1990, 37 с.

к электродвигателю



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 8 НА ТЕМУ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕУПРАВЛЯЕМОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ СХЕМЫ «ШИП-ДПТ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение принципа действия и основных характеристик неуправляемого выпрямителя, а также ознакомление с видами и особенностями построения фильтров, влияющих на энергетические характеристики выпрямителя.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для питания электродвигателей постоянного тока, силовых элементов энергетического канала ЭМ и МС, приводов роботов и устройств различного назначения постоянным током, а также электронных устройств управления требуется постоянное напряжение различной величины. В качестве первичного источника электрической энергии в большинстве случаев используется промышленная сеть переменного напряжения частотой 50 Гц. Для преобразования переменного напряжения в постоянное напряжение заданной величины и допустимой пульсации применяют неуправляемые выпрямители с разными по структуре фильтрами. Обычно в состав источника питания входит трансформатор, выпрямитель, сглаживающий фильтр (электронный стабилизатор постоянного напряжения для цепей управления). В зависимости от назначения и условий работы отдельные элементы выпрямительного устройства могут отсутствовать.

Трансформатор напряжения преобразует переменное напряжение сети до величины, определяемой требованиями нагрузочного устройства и с учетом падения напряжения на промежуточных функциональных узлах схемы.

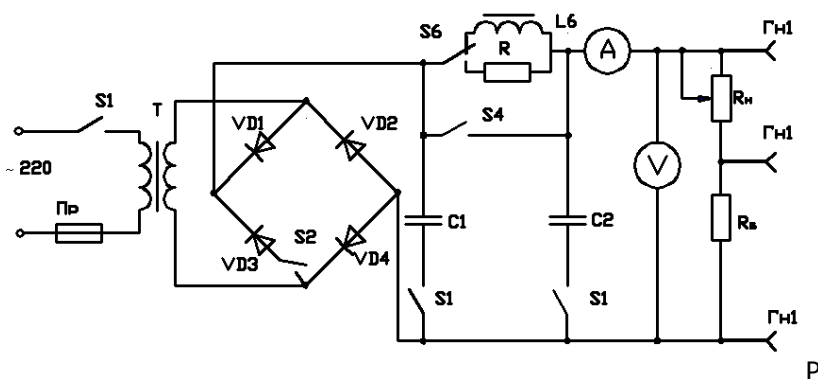
Выпрямитель обеспечивает в нагрузочном устройстве ток одного направления. Существует однополупериодное и двухполупериодное выпрямление переменного многофазного, однофазного напряжения. В настоящей работе используются однополупериод-

ный и мостовой двухполупериодный выпрямители.

Принципиальная электрическая схема такого источника питания представлена на рис. 1.

С помощью переключения тумблера S2 обеспечивается включение однополупериодного или мостового двухполупериодного выпрямителя.

Когда потенциал точки A положительный по отношению к потенциалу точки B, диод VD1 при однополупериодном выпрямлении и диоды VD1 и VD2 при двухполупериодном выпрямлении открыты и в нагрузочном резисторе появляется ток.



ис. 1. Электрическая схема выпрямителей с фильтрами

Во второй полупериод полярность напряжения на вторичной обмотке трансформатора изменяется на противоположное, то есть потенциал точки A становится отрицательным по отношению к потенциалу точки B. При такой полярности диод VD1 при однополупериодном выпрямлении включен в обратном направлении, то есть все напряжение вторичной обмотки трансформатора будет приложено к закрытому диоду и ток нагрузки в цепи будет отсутствовать. При однополупериодном выпрямлении диоды VD4 и VD2 будут открыты, в диоды VD1 и VD3 закрыты и в нагрузочном резисторе R_n появится ток с одним и тем же направлением.

Выпрямленное напряжение на нагрузочном устройстве имеет пульсирующий характер. В однополупериодном выпрямителе среднее значение выпрямленного напряжения.

$$U_{н.ср} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi}$$

(1)

При разложении в ряд Фурье выходного напряжения однополупериодного выпрямителя можно записать

$$U_n = U_{н.ср} \left(1 + \frac{\pi}{2} \cdot \cos \omega t + \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t + \dots \right)$$

(2)

Коэффициент пульсации однополупериодного выпрямителя определяется отношением амплитуды основной (первой) гармоники к среднему выпрямленному напряжению

$$R_n = \frac{U_{н.ср} \cdot \frac{\pi}{2}}{U_{н.ср}} = \frac{\pi}{2} \approx 1.57$$

(3)

Анализ электрических параметров позволяет сделать вывод о недостатках этого выпрямителя: повышенный коэффициент пульсации, заниженные значения выпрямленных токов и напряжений.

В двухполупериодном выпрямителе среднее значение выпрямленного напряжения

$$U_{н.ср} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} \sqrt{2} \cdot U_2 \cdot \sin \omega t d\omega t = \frac{2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_2}{\pi}$$

(4)

Разложив напряжение $U_{н.ср}$ в ряд Фурье

$$U_n = U_{н.ср} \left(1 + \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t + \dots \right),$$

(5)

получим численные значения коэффициента пульсации выпрямителя.

Отношение амплитуды основной гармоники к выпрямленному напряжению определяет коэффициент пульсации для двух-полупериодного мостового выпрямителя в виде

$$K_n = \frac{U_{н.ср} \cdot \frac{2}{3}}{U_{н.ср}} - \frac{2}{3} \approx 0.67 \quad (6)$$

Для питания большинства электронных устройств управления напряжение с таким коэффициентом пульсации не используют с целью исключения нестабильности в работе устройства в целом и уменьшения помех. Для снижения пульсаций выпрямленных напряжений и токов в силовых и слаботочных цепях управления преобразователей часто применяют различные сглаживающие фильтры.

В качестве элементов сглаживающих фильтров применяют индуктивные катушки и конденсаторы, сопротивление которых зависит от частоты гармонических составляющих напряжения (тока). В данной работе используются однозвенные и многозвенные фильтры.

К однозвенным относятся индуктивный, резисторный и емкостный фильтры, которые включаются (рис.1.) параллельно нагрузочному резистору R_n .

К многозвенным фильтрам относятся Г-образные и П-образные фильтры типа LC и RC. Эффективность работы сглаживающих фильтров определяется двумя показателями:

- коэффициентом пульсации K_p , равным отношению амплитудного значения основной гармоники выпрямленного напряжения U_m к постоянной составляющей, равной среднему выпрямленному напряжению $U_{н.ср}$, т.е.

$$Kn = \frac{U_m}{U_{н.ср}} \quad (7)$$

-коэффициентом сглаживания q , равным отношению коэффициентов пульсации на входе $K_{вх}$ и выходе фильтра $K_{вых}$

$$q = \frac{K_{вх}}{K_{вых}} \quad (8)$$

При работе выпрямительного устройства с ростом тока нагрузки увеличиваются внутренние потери напряжения на силовых элементах выпрямителя, наблюдается падение выпрямленного напряжения на зажимах преобразователя. Зависимость

$$U_n = f(J_n) \quad (9)$$

называют внешней характеристикой преобразователя, являющейся одной из важнейших характеристик выпрямительного устройства.

Из-за изменений сопротивления нагрузочного устройства и изменений напряжения сети выпрямленное напряжение на нагрузочном устройстве может меняться, что, иногда, может оказаться недопустимым для питания электронных устройств. В связи с этим возникает необходимость стабилизации выпрямленного напряжения. Стабилизация осуществляется с помощью дополнительного устройства, называемого стабилизатором, которое включают между фильтром и нагрузкой.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

3.1. Ознакомиться с методическим указанием для проведения лабораторной работы.

3.2. Вычертить принципиальную электрическую схему источника питания в бланк отчета.

3.3. Подключить осциллограф к выходным клеммам лабораторного макета и включить сеть питания ≈ 220 В.

3.4. Ознакомиться с лабораторным макетом и его управлением посредством переключения режимов работы источника питания.

3.5. Выполнить исследования энергетических характеристик неуправляемого однополупериодного и двухполупериодного

выпрямителя и фильтров.

3.6. Результаты исследования занести в таблицу наблюдений.

3.7. Зарисовать формы выпрямленных электрических сигналов с экрана осциллографа.

3.8. Выполнить расчеты коэффициентов пульсации и сглаживания исследуемых фильтров, используя при этом выражения (7) и (8).

3.9. Построить графики внешних характеристик исследуемого источника питания.

3.10. Сделать заключение по результатам проделанных исследований с качественной оценкой работы фильтров.

3.11. Оформить отчет и представить его к защите.

4. Вопросы для самостоятельной проработки

1. С какой целью устанавливаются фильтры в силовых и слаботочных цепях ЭМ и МС ?

2. Почему RC-фильтры не используются в силовых цепях преобразователей напряжений, тока ?

3. Какими преимуществами обладают LC-фильтры в сравнении с RC-фильтрами ?

4. С какой целью в LC-фильтрах устанавливают катушки индуктивности с сердечником из электротехнической (трансформаторной) стали ?

5. Почему для дросселей постоянного тока применяют ферромагнитные сердечники с воздушным зазором ?

5. Тесты для проверки степени усвоения материала

1. При проектировании энергетического канала приводной системы часто устанавливают Г - или П – образные фильтры в цепи тока питания преобразователя . С какой целью в ферромагнитных сердечниках фильтров (сглаживающих дросселей) вводят воздушный зазор ?

- для увеличения коэффициента пульсации,
- для снижения потерь в сердечнике дросселя;
- для расширения зоны прерывистых токов;
- для расширения зоны линейности изменения контура

индуктивности.

2. При эквивалентных активных сопротивлениях обмотки сглаживающего дросселя и добавочного резистора П-образного фильтра коэффициент сглаживания в схеме с L- значительно выше. Поясните, как изменяется входное сопротивление исследуемого фильтра, если подается на вход напряжение с коэффициентом пульсности:

- $k_p = 6$,
- $k_p = 3$;
- $k_p = 0$.

3. В схемах преобразователей переменного напряжения в постоянные приводных систем применяют Г-образные LC-фильтры, причем на входе может быть установлена как емкость, так и индуктивность.

Поясните, в каком случае защищенность тиристоров, диодов от бросков токов при включении преобразователя выше, когда:

- на входе установлена емкость C,
- на входе установлена индуктивность L;
- на входе установлен LC- или CL- фильтр;
- на входе установлен П –образный CL-фильтр.

Таблица результатов исследования энергетических характеристик неуправляемого $\frac{\text{одно}}{\text{двух}}$ -полупериодного выпрямителя и фильтров

| Фильтры | Энерг. Характерист. | Значения измененных величин | | | | | Форма Электр. сигнала | Коэф. пульс. Кп | Коэф. сглаж. q |
|-------------|---------------------|-----------------------------|---|---|---|---|-----------------------|-----------------|----------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | | |
| Без фильтра | U | | | | | | | | |
| | J | | | | | | | | |
| Индуктивный | U | | | | | | | | |
| | J | | | | | | | | |
| Резисторный | U | | | | | | | | |
| | J | | | | | | | | |

Робототехника и мехатроника

| | | | | | | | | | |
|-----------------------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Емкост- ный | U | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Г-образ- ный LC | U | | | | | | | | |
| | J | | | | | | | | |
| Г-образ- ный RC | U | | | | | | | | |
| | J | | | | | | | | |
| П-образ- ный LC | U | | | | | | | | |
| | J | | | | | | | | |
| П-образ- ный RC | U | | | | | | | | |
| | J | | | | | | | | |