



Федеральное агентство морского и речного транспорта  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА  
имени адмирала С. О. МАКАРОВА**

---

**Институт ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**  
*Кафедра электропривода и электрооборудования  
береговых установок*

**ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ  
АППАРАТОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭНЕРГИИ  
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ**

Методические указания

Санкт-Петербург  
Издательство ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова  
2018

УДК 621.31

ББК 22.33

П76

- П76 Применение электрических и электронных аппаратов для управления передачей энергии по электрической цепи: метод. указания / Сост. В. О. Тырва, Л. М. Бровцинова. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2018. — 20 с.

Методические указания соответствуют Федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника». Изложена методика исследования характеристик схем последовательного и последовательно-параллельного подключения электрического аппарата к электрической цепи и проектирования электронного аппарата, устраняющего недостатки, выявленные проведенным исследованием.

Предназначены для студентов 3- и 4-го курсов по дисциплине «Электрические и электронные аппараты» очной и заочной формы обучения.

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры электропривода и электрооборудования береговых установок. Протокол № 7 от 06.03.2017.

*Рецензент:*

Саушев А. В., д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой электропривода и электрооборудования береговых установок (ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»).

© ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова», 2018

© Тырва В. О., 2018

## Введение

Целью курсовой работы является изучение особенностей управления передачей энергии по электрической цепи в схемах последовательного и последовательно-параллельного подключения аппарата к электрической цепи, приобретение навыков в построении электрических схем по ГОСТ РФ, формирование умения выполнения исследований и технической реализации их результатов. В курсовой работе необходимо:

- выполнить построение электрических схем в соответствии с действующими правилами и условными обозначениями элементов схем по ГОСТ;
- аналитически получить расчетные зависимости переменных, характеризующих процессы в электрической цепи, в которой используется реостат для управления передачей энергии по цепи;
- выполнить расчеты и отобразить зависимости переменных состояния процессов в виде графиков;
- провести анализ полученных результатов и сделать вывод о достоинствах и недостатках исследованных схем с позиций их энергоэффективности;
- сформулировать и обосновать предложения по снижению потерь энергии, ориентируясь на применение электронных аппаратов и передачу энергии по электрической цепи модулируемыми импульсами;
- синтезировать энергоэффективное электронное устройство управления передачей энергии по электрической цепи вместо реостата;
- построить электрическую схему с электронным аппаратом, представив ее как результат модернизации исследованных ранее схем;
- описать управляемый процесс передачи энергии по предложенной схеме.

При выполнении курсовой работы необходимо использовать знания, полученные по курсам «Электрические и электронные аппараты», «Теоретические основы электротехники», «Физические основы электроники».

Выполненная курсовая работа представляется преподавателю для защиты в виде расчетно-пояснительной записки объемом до 30 листов формата А4. В пояснительной записке должны быть приведены исходные данные, электрические схемы, расчетные формулы и результаты расчетов с подстановкой в формулы численных значений исходных и промежуточных данных, графики и выводы. Расчеты должны быть выполнены в системе единиц СИ,

электрические схемы — в соответствии с государственными стандартами. У всех физических величин должны быть указаны единицы измерения.

В начале расчетно-пояснительной записки приводится ее содержание с наименованием разделов и указанием страниц их расположения в записке. В конце пояснительной записки должен быть приведен перечень использованной литературы. Ссылки на нее отображаются в тексте с помощью прямоугольных скобок с помещенным в них номером.

Последовательность изложения материала и наименование пунктов в расчетно-пояснительной записке к курсовой работе должны соответствовать названиям и нумерации пунктов данного методического пособия.

В пособии даются ссылки на литературу, которую рекомендуется использовать при выполнении курсовой работы. Ссылка приводится в прямоугольных скобках, где первое число указывает порядковый номер литературного источника из списка литературы, который помещен в конце пособия; следующая запись за приведенным числом может указывать номера страниц, на которых изложены необходимые сведения. Например, ссылка [2, С. 4–9] означает, что следует обратиться к литературе с номером 2 из списка литературы и ознакомиться с текстом на страницах 4–9.

Исходные данные, необходимые для выполнения расчетов в курсовой работе, сгруппированы в таблице № 1 по вариантам. Каждый студент получает от преподавателя номер варианта, по которому берутся исходные данные из таблицы.

## Условные обозначения

$U$	— напряжение источника питания, В;
$U_m$	— амплитудное значение переменного напряжения, В;
$U_H$	— падение напряжения на приемнике электрической энергии в схеме последовательного подключения реостата, В;
$U_{II}$	— падение напряжения на приемнике электрической энергии в схеме последовательно-параллельного подключения реостата, В;
$\omega$	— угловая частота переменного напряжения, 1/с;
$t$	— координата времени, с;
$T$	— период следования импульсов (или переменного напряжения), с;
$P_{ном}$	— номинальная мощность приемника электрической энергии, Вт;
$P_H$	— величина энергии, передаваемой от источника к приемнику в единицу времени в схеме последовательного подключения реостата, Вт;
$P_{II}$	— величина энергии, передаваемой от источника к приемнику в единицу времени в схеме последовательно-параллельного подключения реостата, Вт;
$\Delta P$	— потери энергии в единицу времени в реостате в схеме последовательного подключения, Вт;
$\Delta P_{12}$	— потери энергии в единицу времени в реостате в схеме последовательно-параллельного подключения, Вт;
$\Delta P_1, \Delta P_2$	— потери энергии в единицу времени в частях реостата в схеме последовательно-параллельного подключения, Вт;
$I_H$	— сила тока в приемнике электрической энергии в схеме последовательного подключения реостата, А;
$I_{II}$	— сила тока в приемнике электрической энергии в схеме последовательно-параллельного подключения реостата, А;
$R_0$	— электрическое полное сопротивление реостата, Ом;
$R_{нл}$	— электрическое сопротивление нити накаливания лампы, Ом;
$R$	— электрическое сопротивление, создаваемое реостатом в схеме последовательного подключения к электрической цепи, Ом;
$R1, R2$	— электрические сопротивления, создаваемые реостатом в схеме последовательно-параллельного подключения к электрической цепи;
$l$	— длина обмотки реостата, м;

- $x$  — перемещение движка реостата, м;  
 $X1, X2, X3$  — зажимы реостата;  
 $k_{\text{н}}$  — коэффициент передачи энергии (мощности) для схемы последовательного подключения реостата;  
 $k_{\text{п}}$  — коэффициент передачи энергии (мощности) для схемы последовательно-параллельного подключения реостата;  
 $\bar{k}_p$  — среднее значение коэффициента потерь электрической энергии;  
 $\alpha$  — угол управления электронным ключом, рад;  
 $\tau$  — длительность импульса тока, с;  
 $f$  — частота следования импульсов, Гц.

# 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Управление передачей энергии по электрической цепи (см. [1, С. 6–12] или [3, С. 4–8]) производится в соответствии со структурной схемой, показанной на рис. 1.

Источник электрической энергии — источник напряжения  $U$ .

Приемник электрической энергии — лампа накаливания номинальной мощности  $P_{\text{ном}}$ .

Электроаппарат — реостат  $R_0$  ручного управления (см. [1, С. 18–19] или [2, С. 9–10]) в лабораторном исполнении (рис. 2, а) с линейной характеристикой управления (см. [1, С. 24–29] или [2, С. 5–6], [3, С. 11–12]).

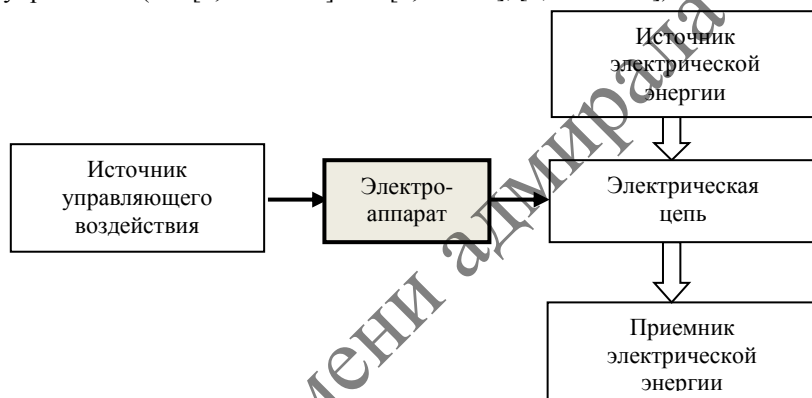


Рис. 1. Структурная схема системы управления передачей энергии по электрической цепи

Входным управляющим воздействием на реостат является перемещение  $x$  ползунка в соответствии с рис. 2, а.

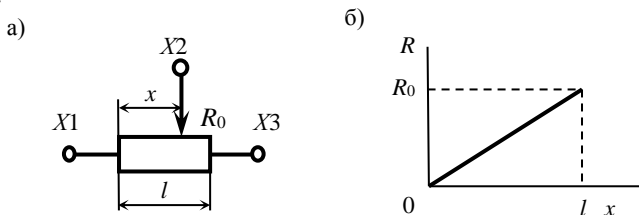


Рис. 2. Реостат, подключаемый к электрической цепи (а); характеристика управления реостата (б)

Характеристика управления используемого реостата имеет вид, показанный на рис. 2, б. Сопротивление  $R$  между зажимами  $X1$  и  $X2$  разборных контактов реостата (см. [1, С. 44–45] или. [2, С. 15–16]) линейно зависит от положения  $x$  ползунка реостата, причем входная переменная  $x$  может изменяться в диапазоне  $0 \leq x \leq 1$ , где  $l$  — длина обмотки реостата.

Источник управляющего воздействия (на рис. 1) — человек-оператор, прикладывающий мускульное усилие к ползунку реостата для перемещения ползунка при управлении передачей энергии от источника до приемника электрической энергии.

Числовые значения параметров по вариантам курсовой работы для схемы на рис. 1 помещены в табл. 1.

Таблица 1  
Исходные данные по вариантам курсовой работы

№ варианта	$\frac{1}{15}$	$\frac{2}{16}$	$\frac{3}{17}$	$\frac{4}{18}$	$\frac{5}{19}$	$\frac{6}{20}$	$\frac{7}{21}$	$\frac{8}{22}$	$\frac{9}{23}$	$\frac{10}{24}$	$\frac{11}{25}$	$\frac{12}{26}$	$\frac{13}{27}$	$\frac{14}{28}$
$U$ , В	6	12	24	36	50	6	12	24	36	50	6	12	24	36
$P_{\text{ном}}$ , Вт	$\frac{10}{5}$	$\frac{15}{7}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{30}{15}$	$\frac{40}{20}$	$\frac{15}{7}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{30}{15}$	$\frac{40}{20}$	$\frac{50}{25}$	$\frac{20}{10}$	$\frac{30}{15}$	$\frac{40}{20}$	$\frac{50}{25}$
$R_0$ , Ом	$\frac{15}{30}$	$\frac{40}{80}$	$\frac{120}{240}$	$\frac{160}{320}$	$\frac{250}{500}$	$\frac{10}{20}$	$\frac{30}{60}$	$\frac{80}{160}$	$\frac{120}{240}$	$\frac{200}{400}$	$\frac{10}{20}$	$\frac{20}{40}$	$\frac{50}{100}$	$\frac{100}{200}$
$l$ , м	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3

К номерам вариантов, записанных над горизонтальной чертой, относятся исходные данные ( $P_{\text{ном}}$  — номинальная мощность приемника электрической энергии,  $R_0$  — полное сопротивление реостата), записанные в таблице также над горизонтальной чертой.

### **Задание**

Записать в пояснительную записку исходные данные по варианту, указанному преподавателем.



## 2. РАСЧЕТ СХЕМЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ АППАРАТА К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

### 2.1. Построение электрической схемы последовательного подключения реостата к электрической цепи

Последовательное подключение аппарата к электрической цепи (см. [1, С. 20–22] или [2, С. 84]) применяется в соответствии с рис. 1, когда в качестве источника электрической энергии используется источник напряжения ( $U$ ).

В данном случае реостат имеет один вход и один выход (рис. 3). Он подключается к электрической цепи при помощи зажимов  $X1$  и  $X2$  (см. рис. 2). Зажим  $X3$  реостата не используется.

Входной переменной  $x$  является перемещение ползунка реостата, выходной переменной — электрическое сопротивление  $R$ , создаваемое реостатом в электрической цепи.



Рис. 3. Выделение входа и выхода реостата

#### **Задание**

1. Построить принципиальную электрическую схему системы управления передачей энергии с реостатом и с лампой накаливания в качестве приемника электрической энергии, применив правильные обозначения элементов схемы по ГОСТ РФ (см. [1, С. 14–18] или [2, С. 11–14] и др.).

2. Поместить под схемой перечень элементов схемы с указанием буквенно-цифрового обозначения каждого элемента.

3. Кратко описать принцип действия системы управления по построенной электрической схеме.

### 2.2. Расчет сопротивления приемника электрической энергии

Приемник электрической энергии — лампа накаливания. Предполагается, что электрическое сопротивление  $R_n$  нити накаливания лампы не зависит от силы тока, протекающего по нити накаливания. Таким образом, лампа

рассматривается как постоянная по величине нагрузка электрической цепи с электрическим сопротивлением  $R_H$ .

#### ***Задание***

*Используя исходные данные ( $U$ ,  $P_{ном}$ ) записать формулу для вычисления  $R_H$  и произвести по ней расчет сопротивления нагрузки (лампы накаливания).*

### **2.3. Построение характеристики управления реостата**

#### ***Задание***

*1. Записать, что называют характеристикой управления аппарата (см. [1, С. 27–32] или [2, С. 6]).*

*2. Записать математическое выражение для характеристики управления в обозначениях как на рис. 2, б.*

*3. Представить характеристику управления реостата в виде графика в координатах ( $x$ ,  $R$ ), используя числовые значения исходных данных из табл. 1 для заданного варианта.*

*4. Кратко описать алгоритм построения графика характеристики управления, примененный автором курсовой работы.*

### **2.4. Получение и анализ зависимостей падения напряжения на нагрузке и передаваемой приемнику мощности от управляющего воздействия**

При изменении величины управляющего воздействия  $x$  изменяются в соответствии с характеристикой управления реостата сила тока  $I_H$  в электрической цепи, падение напряжения  $U_H$  на нагрузке (лампе накаливания) и величина энергии, передаваемой от источника к приемнику в единицу времени. Энергия, передаваемая нагрузке в единицу времени есть мощность, которую обозначим  $P_H$ . Зависимости  $I_H$ ,  $U_H$ ,  $P_H$  от  $x$  могут быть представлены в аналитической форме и в виде графиков.

#### ***Задание***

*1. Получить и записать математические выражения зависимостей  $U_H$ ,  $P_H$  от  $x$ , используя определенную в п. 2.3 характеристику управления реостата.*

*2. Построить графики зависимостей  $U_H$ ,  $P_H$  от  $x$  ( $0 \leq x \leq 1$ ), используя ЭВМ.*

*3. Кратко описать алгоритм построения графиков.*

4. Установить связь коэффициента передачи энергии  $k_H$  (см. [1, С. 85]) с мощностью  $P_H$ , представить формулой и в виде графика зависимость  $k_H$  от  $x$ .

5. Записать выводы на основе анализа полученных результатов.

## 2.5. Оценка потерь энергии в аппарате при последовательном подключении к электрической цепи

Потери  $\Delta P$  электрической энергии в единицу времени (потери мощности), возникающие при передаче энергии от источника к приемнику электрической энергии, зависят от величины сопротивления  $R$ , создаваемого аппаратом в месте его подключения к электрической цепи и, следовательно, от управляющего воздействия — переменной  $x$ .

### Задание

1. Получить и записать в аналитическом виде зависимость  $\Delta P$  от  $R$  (см. [1, С. 22–23] или [2, С. 85]).

2. Построить график зависимости  $\Delta P$  от  $R$ , приняв, что величина  $R$  изменяется в диапазоне от 0 до  $R_0$ .

3. Определить по графику (желательно и аналитически) максимальную величину потерь энергии  $\Delta P_{\max}$  и соответствующее ей значение  $R_{\max\Delta P}$  сопротивления  $R$ . Сравнить величину  $\Delta P_{\max}$  с номинальной мощностью  $P_{\text{ном}}$  приемника электрической энергии (лампы накаливания), сравнить величины  $R_{\max\Delta P}$  и  $R_H$  ( $R_H$  — сопротивление приемника электрической энергии, определенное в п. 2.2).

4. Определить по графику минимальную величину потерь энергии  $\Delta P_{\min}$  и соответствующее ей значение  $R_{\min\Delta P}$  сопротивления  $R$ , создаваемого аппаратом в электрической цепи.

5. Оценить зависимость потерь энергии  $\Delta P$  от величины коэффициента передачи энергии  $k_H$ . Определить значение  $k_H$ , при котором потери максимальны:  $\Delta P = \Delta P_{\max}$ .

6. Записать выводы на основе анализа полученных результатов.

### 3. РАСЧЕТ СХЕМЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ АППАРАТА К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

#### 3.1. Построение электрической схемы последовательно-параллельного подключения реостата к электрической цепи

При последовательно-параллельном подключении реостата  $R_0$  (см. рис. 2, а) к электрической цепи (см. [1, С. 21–22] или [2, С. 84]) к зажимам  $X1$ ,  $X3$  подводится напряжение  $U$  от источника электрической энергии. Приемник электрической энергии (лампа накаливания) подключается к зажимам  $X2$ ,  $X3$  реостата. В данном случае реостат можно рассматривать как аппарат, у которого один вход  $x$  и два выхода (рис. 4).

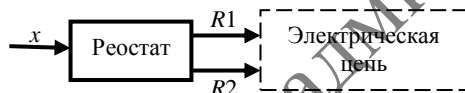


Рис. 4. Выделение входа и выходов реостата в схеме последовательно-параллельного подключения к электрической цепи

Переменная  $R1$  — это общее для электрической цепи сопротивление, создаваемое реостатом между зажимами  $X1$  и  $X2$ .

Переменная  $R2$  — сопротивление, создаваемое реостатом в параллельной (с нагрузкой  $R_n$ ) ветви электрической цепи между зажимами  $X2$  и  $X3$ .

#### **Задание**

1. Построить принципиальную электрическую схему системы управления передачей энергии при последовательно-параллельном подключении реостата. В качестве приемника электрической энергии использовать лампу накаливания.

2. Поместить под схемой перечень элементов схемы с указанием буквенно-цифрового обозначения каждого элемента.

3. Кратко описать принцип действия системы управления по построенной схеме.

## 3.2. Построение характеристик управления реостата

Характеристика управления реостата по выходу  $R1$  совпадает с характеристикой управления, построенной в п. 2.3.

### *Задание*

1. Записать математическое выражение для характеристики управления реостата по выходу  $R2$  в обозначениях как на рис. 4.

3. Представить характеристику управления реостата по выходу  $R2$  в виде графика в координатах  $(x, R2)$ , используя числовые значения исходных данных из табл. 1 для заданного варианта.

4. Воспроизвести в координатах  $(x, R1)$  график характеристики управления реостата по выходу  $R1$  и сравнить характеристики управления по выходам  $R1$  и  $R2$ .

5. Записать выводы по полученным результатам.

## 3.3. Получение и анализ зависимостей падения напряжения на нагрузке и передаваемой приемнику мощности от управляющего воздействия

При изменении величины управляющего воздействия  $x$  изменяется в соответствии с характеристиками управления реостата сила тока  $I_{\Pi}$  в приемнике электрической энергии (лампе накаливания), падение напряжения  $U_{\Pi}$  на нем и величина энергии, передаваемой от источника к приемнику в единицу времени — мощность  $P_{\Pi}$ . Зависимости  $I_{\Pi}$ ,  $U_{\Pi}$  и  $P_{\Pi}$  от  $x$  могут быть представлены в аналитической форме и в виде графиков.

### *Задание*

1. Получить и записать математическое выражение зависимостей  $U_{\Pi}$  и  $P_{\Pi}$  от  $x$ , используя математические выражения, полученные в пп. 2.3 и 3.2 для характеристик управления реостата. Сопротивление  $R_{\Pi}$  приемника электрической энергии принять по расчету в п. 2.2.

2. Построить график зависимости  $P_{\Pi}$  от  $x$  ( $0 \leq x \leq 1$ ).

3. Сравнить полученный график с графиком зависимости  $P_{\Pi}$  от  $x$ , построенным в п. 2.4.

4. Описать связь коэффициента передачи энергии  $k_{\Pi}$  (см. [1, С. 22–23] или [2, С. 85]) с мощностью  $P_{\Pi}$ .

5. Представить характер зависимости  $k_{\Pi}$  от  $x$ , сравнить эту зависимость с функцией  $k_{\Pi}$  от  $x$ , полученной в п. 2.4.

6. Записать выводы на основе анализа полученных результатов.

### 3.4. Оценка потерь энергии в аппарате при последовательно-параллельном подключении к электрической цепи

Потери энергии возникают в реостате на сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$ . Примем, что на  $R_1$  потери энергии в единицу времени составляют  $\Delta P_1$ , на сопротивлении  $R_2$  —  $\Delta P_2$  (также в единицу времени). Общие потери энергии  $\Delta P_{12}$  в единицу времени при последовательно-параллельном подключении аппарата к электрической цепи

$$\Delta P_{12} = \Delta P_1 + \Delta P_2.$$

Потери  $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$  и  $\Delta P_{12}$  электрической энергии в единицу времени (потери мощности), возникающие при передаче энергии от источника к приемнику электрической энергии, зависят от величины управляющего воздействия  $x$ .

#### *Задание*

1. Получить в аналитическом виде и в виде графиков зависимости  $\Delta P_1$ ,  $\Delta P_2$  и  $\Delta P_{12}$  от  $x$  ( $0 \leq x \leq l$ ).

2. Определить по графику максимальную величину потерь энергии  $\Delta P_{12\max}$  и соответствующее ей значение  $x_{\Delta P_{12\max}}$  управляющего воздействия  $x$ . Сравнить величину  $\Delta P_{12\max}$  с номинальной мощностью  $P_{\text{ном}}$  приемника электрической энергии (лампы накаливания) и с величиной потерь энергии  $\Delta P$ , определенной в п. 2.5.

4. Определить по графику минимальную величину потерь энергии  $\Delta P_{12\min}$  и соответствующее ей значение  $x_{\Delta P_{12\min}}$  управляющего воздействия  $x$ .

5. Записать выводы на основе анализа полученных результатов.

6. Сделать выводы о достоинствах и недостатках исследованных схем подключения аппарата к электрической цепи, когда в качестве источника энергии используется источник напряжения (см. [1, С. 10–11] или [3, С. 8–9]).

7. Предложить способы уменьшения потерь электрической энергии при управлении передачей энергии по цепи постоянного тока и по цепи переменного тока, дать рекомендации по применению электронных аппаратов (см. [1, С. 117–120] или [2, С. 84–86]) для реализации предложенных способов.

## 4. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЭЛЕКТРОННОГО АППАРАТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСАМИ

### 4.1. Применение электронных ключей для управления передачей энергии по электрической цепи

На примере применения реостата для управления передачей энергии по электрической цепи от источника напряжения до приемника электрической энергии (лампы накаливания) установлено, что потери энергии неизбежны, если используемый электроаппарат, создает в электрической цепи сопротивление, отличное от нуля:  $0 < R < \infty$ .

Снизить потери энергии до минимума (теоретически до нуля) можно, применив в схеме с последовательным подключением аппарата передачу энергии импульсами так, чтобы коэффициент передачи энергии периодически изменялся, принимая два значения 0 и 1 (см. [1, С. 23–24] или [2, С. 86]). При этом создаваемое аппаратом сопротивление в электрической цепи должно скачкообразно изменяться от  $R \rightarrow \infty$  до  $R = 0$ , и в обратном направлении. Такой режим передачи энергии по электрической цепи может быть создан электронным аппаратом (см. [1, С. 117–120] или [2, С. 84–88]) в соответствии со структурной схемой на рис. 5, а, когда в качестве исполнительного устройства применяется электронный ключ по свойствам, близким к свойствам идеального ключа.

Для схемы последовательного подключения идеального ключа к цепи постоянного тока с источником напряжения  $U$  осредненный на периоде  $T$  (рис. 5, б) коэффициент передачи энергии  $\bar{k}_p$  определяется выражением

$$\bar{k}_p = \frac{\tau}{T} \quad (0 \leq \tau \leq T),$$

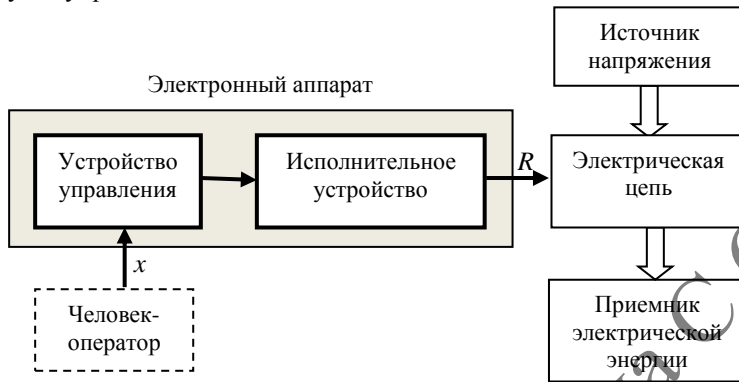
где  $\tau$  — длительность импульса. Управление передачей электрической энергии обычно осуществляется путем изменения длительности импульса  $\tau$  при неизменной частоте  $f = 1/T$  следования импульсов.

Для схемы последовательного подключения идеального ключа к цепи переменного тока с источником напряжения  $u = U_m \sin \omega t$  осредненный на периоде  $T$  (рис. 5в) коэффициент передачи энергии  $\bar{k}_p$  определяется выражением

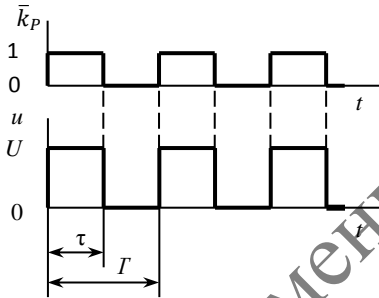
$$\bar{k}_p = 1 - \frac{1}{2\pi} (2\alpha - \sin 2\alpha); \quad (0 \leq \alpha \leq \pi),$$

где  $\alpha$  — угол управления ключом.

а)



б)



в)

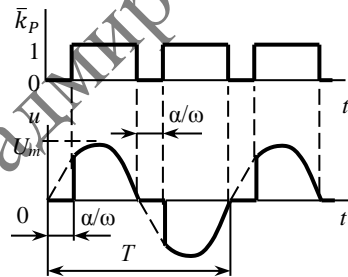


Рис. 5. Структурная схема системы управления передачей энергии с электронным аппаратом (а); временные диаграммы изменения параметров системы управления для цепи постоянного тока (б) и для цепи переменного тока (в)

Управление передачей электрической энергии обычно осуществляется путем изменения угла управления ключом  $\alpha$  при неизменной частоте  $f = 1/T$  следования импульсов в виде «обрезков» синусоиды. Реальные электронные ключи (см. [1, С. 120–131] или [2, С. 88–95]) создают потери энергии на них и в статическом, и в динамическом режимах работы (см. [1, С. 131–132] или [2, С. 95–98]). Поэтому временные диаграммы импульсов будут несколько отличаться от диаграмм, изображенных на рис. 5, б и рис. 5, в.

### Задание

1. Выбрать полупроводниковый ключ для последовательной схемы его подключения к электрической цепи с источником напряжения постоянного



тока и приемником, параметры которых определены по заданному варианту исходных данных. Принять  $f = 50$  Гц.

2. Построить электрическую схему передачи энергии (рис. 5, б) от источника напряжения постоянного тока к приемнику с выбранным ключом в составе электрической цепи.

3. Выполнить описание принципа работы построенной схемы, сопроводив его при необходимости математическими выражениями, расчетами, временными диаграммами.

## **4.2. Анализ потерь энергии при передаче ее по электрической цепи**

### **Задание**

1. Для построенной в п. 4.1 схемы с источником напряжения постоянного тока рассчитать длительность импульса  $\tau$ , при которой  $\bar{k}_p = 0,25$ .

2. Определить потери энергии на ключе при  $\bar{k}_p = 0,25$  (см. [1, С. 132, 134–135] или [2, С. 96, 98–100]).

3. Сравнить найденные потери энергии на электронном ключе с потерей энергии в реостате, определенной при значении коэффициента передачи энергии  $k_{п} = 0,25$  в п. 2.5.

4. Провести анализ полученных результатов и сделать выводы.

## **4.3. Разработка системы управления передачей энергии по электрической цепи переменного тока**

### **Задание**

1. Выбрать тиристорный ключ для последовательной схемы подключения аппарата к электрической цепи с источником напряжения переменного тока и приемником, параметры которых определены по заданному варианту исходных данных. Принять  $f = 50$  Гц.

2. Построить электрическую схему системы управления передачей энергии (рис. 5, в) от источника напряжения переменного тока к приемнику в соответствии с рис. 5, а, применив в ней выбранный тиристорный ключ (для этой цели можно модернизировать электрическую схему, приведенную в [1, С. 17–18], применив фазовое управление тиристорами, и использовать дополнительную литературу, например, [4] – [6]).

3. Выполнить описание принципа работы системы управления по разрабатываемой схеме.

## Библиографический список

1. Тырва В. О. Электрические и электронные аппараты электроприводов и систем автоматики: учеб. пособие / В. О. Тырва. — СПб.: Изд-во ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2015. — 336 с.

2. Тырва В. О. Электрические и электронные аппараты. Элементы и узлы электроаппаратов: учеб. пособие / В. О. Тырва. — СПб.: Изд-во ФГО ВПО СПГУВК, 2009. — 116 с.

3. Тырва В. О. Электрические и электронные аппараты. Часть 2. Аппараты электроприводов и распределительных устройств низкого напряжения.: учеб. пособие / В. О. Тырва. — СПб.: Изд-во СПГУВК, 2010. — 191 с.

4. Электрические и электронные аппараты: учебник: в 2 т.; под ред. Ю. К. Розанова — Т. 2. Силовые электронные аппараты. — М.: Академия, 2010. — 320 с.

5. Опадчий Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника: учебник / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров; под ред. О. П. Глудкина. — М.: Горячая Линия – Телеком, 2000. — 768 с.

6. Горбачев Г. Н. Промышленная электроника: учебник / Г. Н. Горбачев, Е. Е. Чаплыгин; под ред. В. А. Лабунцова. — М.: Энергоатомиздат, 1988. — 320 с.

## Оглавление

Введение .....	3
Условные обозначения .....	5
1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....	7
2. РАСЧЕТ СХЕМЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ АППАРАТА К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ .....	9
2.1. Построение электрической схемы последовательного подключения реостата к электрической цепи .....	9
2.2. Расчет сопротивления приемника электрической энергии .....	9
2.3. Построение характеристики управления реостата .....	10
2.4. Получение и анализ зависимостей падения напряжения на нагрузке и передаваемой приемнику мощности от управляющего воздействия .....	10
2.5. Оценка потерь энергии в аппарате при последовательном подключении к электрической цепи .....	11
3. РАСЧЕТ СХЕМЫ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО-ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПОДКЛЮЧЕНИЯ АППАРАТА К ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ .....	12
3.1. Построение электрической схемы последовательно-параллельного подключения реостата к электрической цепи .....	12
3.2. Построение характеристик управления реостата .....	13
3.3. Получение и анализ зависимостей падения напряжения на нагрузке и передаваемой приемнику мощности от управляющего воздействия. ....	13
3.4. Оценка потерь энергии в аппарате при последовательно-параллельном подключении к электрической цепи .....	14
4. РАЗРАБОТКА ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЭЛЕКТРОННОГО АППАРАТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСАМИ .....	15
4.1. Применение электронных ключей для управления передачей энергии по электрической цепи .....	15
4.2. Анализ потерь энергии при передаче ее по электрической цепи .....	17
4.3. Разработка системы управления передачей энергии по электрической цепи переменного тока .....	17
Библиографический список .....	18

# Применение электрических и электронных аппаратов для управления передачей энергии по электрической цепи

Методические указания к выполнению курсовой работы

Составитель: Тырва Владимир Оскарович, канд. техн. наук, проф.  
Бровцинова Людмила Михайловна, доцент



198035, Санкт-Петербург, Межевой канал, 2

Тел.: (812) 748-97-19, 748-97-23

e-mail: [izdat@sumrf.ru](mailto:izdat@sumrf.ru)

*Публикуется в авторской редакции*

---

Ответственный за выпуск	Сатикова Т. Ф.
Корректурa	Середова Т.В.
Компьютерная верстка	Тюленева Е. И.

Подписано в печать 26.02.2018

Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman

Усл. печ. л. 1,25. Тираж 50 экз. Заказ № 26/18