

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Ордена Трудового Красного Знамени федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение высшего образования

**«Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ)**

**Факультет «Кибернетика и информационная безопасность»**

**Кафедра «Экология»**

**Учебно-методическое пособие**

**Лабораторно-практический комплекс**

по дисциплине:

**Электропитание устройств и систем инфокоммуникаций**

Для студентов ЦЗОПБ

Направления подготовки: 09.03.02, 11.03.04, 15.03.04, 27.03.04

(название работы или номер варианта)

студента (номер группы), (номер курса)

(название формы обучения) заочная форма обучения

Научный руководитель:

(учёная степень, ученое звание, фамилия инициалы)

Дата сдачи \_\_\_\_\_

Оценка \_\_\_\_\_

Москва, 2025 г

Рассматриваются методики расчета и выбора оборудования электропитания для устройств и систем телекоммуникаций. Приведены справочные данные устройств и материалов, необходимые для расчетов. Методические указания включают варианты заданий для выполнения лабораторных работ по дисциплинам «Электропитание устройств и систем телекоммуникаций» и «Электропитание компьютерных сетей и вычислительных комплексов».

## Введение

Цель настоящей работы – закрепление студентами теоретических знаний, полученных при изучении основных разделов курса [1].

Для выполнения лабораторных работ настоящего комплекса необходимо изучить теоретический материал и воспользоваться справочными данными, приведенными в настоящем пособии [1, 2, 3, 4, 15]. Подготовка к выполнению контрольного задания производится самостоятельно путем изучения приведенных в пособии примеров решения типовых задач и самостоятельного решения подобных задач с исходными данными, указанными в таблицах. Методические указания предусматривают 100 вариантов заданий для каждой лабораторной работы.

### 1. Лабораторно – практический комплекс с примерами решения

#### Задача №1 Расчет мощности и выбор источника бесперебойного питания переменного тока

Исходные данные.

Нагрузкой системы бесперебойного питания переменного тока напряжением  $\sim 220 \text{ В}$   $50 \text{ Гц}$  является локальная информационно – вычислительная сеть общей мощностью  $P_{ЛВС} = 2500 \text{ Вт}$  и коэффициент мощности  $\psi_{ЛВС} = 0,7$ . Одновременно от системы питается сервер мощностью  $P_C = 800 \text{ Вт}$  и коэффициентом мощности  $\psi_C = 0,95$ . Коэффициент увеличения пускового тока локальной информационно – вычислительной сети можно считать равным  $k_{\alpha ЛВС} \approx 1$ , а сервера  $k_{\alpha C} \approx 2,5$ . Определить количество модулей источника бесперебойного питания, если мощность одного модуля равна  $P_M = 1000 \text{ Вт}$ , а коэффициент мощности источника  $\psi_C \geq 0,95$ . При этом с целью увеличения надежности ИБП следует добавить один модуль в качестве резервного. Коэффициент учета параллельного включения модулей равен  $k_{ПМ} = 0,95$ .

Решение.

Полная выходная мощность ИБП должна быть больше мощности потребления нагрузки с учетом поправочных коэффициентов:

$$S_{\text{вых ИБП}} = k_{\alpha ЛВС} \cdot k_{\beta ЛВС} \cdot P_{ЛВС} / \psi_{ЛВС} + k_{\alpha C} \cdot k_{\beta C} \cdot P_C / \psi_C = 1 \cdot 1 \cdot 2500 / 0,7 + 2,5 \cdot 1 \cdot 800 / 0,95 = 3571 + 2105 = 5676 \text{ ВА},$$

где:  $k_{зЛВС}=1$  - коэффициент загрузки (то есть одновременной работы) компьютеров ЛВС среднестатистический,  $k_{зС}$  - коэффициент загрузки сервера (он всегда включен).

Количество модулей будет равно  $N \approx (S_{ВыхИБП}/P_M)/k_{ПМ} + 1 = (5676/1000)/0,95 + 1 = 7$

Таблица 2.1 Варианты задания для решения первой задачи (при  $\psi_{ЛВС}=0,7$ ,  $\psi_C=0,95$ ,  $\psi_{св}=0,95$ ,  $k_{зЛВС}=1$ ,  $k_{зС}=1$ ,  $k_{ПМ}=0,95$ ,  $k_{\alpha ЛВС} \approx 1$ ,  $k_{\alpha С} \approx 2,5$ ).

Предпол. цф. ном. зачет. книж.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{ЛВС}, Вт$	1000	1200	1500	1800	2000	2300	2600	2800	3000	3500
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

$P_C, Вт$	500	450	400	380	550	600	650	700	680	620
$P_M, Вт$	600	650	620	700	750	800	820	850	900	1200

## Задача №2 Расчет максимальной мощности потребления источника бесперебойного питания переменного тока

Исходные данные.

Найдите максимальную мощность потребления источника бесперебойного питания, если его выходная максимальная мощность равна  $P_{ВыхИБП} = 1000 Вт$ , а коэффициент мощности составляет  $\psi_{ИБП} = 0,85$ . Коэффициент полезного действия источника бесперебойного питания равен  $\eta_{ИБП} = 0,89$ , а максимальный ток заряда аккумуляторных батарей  $I_{зmax} = 5 А$  при напряжении заряда  $U_3 = 25,8 В$ .

Решение.

Найдем максимальную мощность заряда аккумуляторных батарей:

$$P_{ЗAB} = I_{зmax} \cdot U_3 = 5 \cdot 25,8 = 129 Вт$$

Далее нужно оценить полную входную мощность  $S_{ВхИБП}$ , ВА потребления ИБП с учетом максимальной нагрузки и одновременного заряда аккумуляторных батарей:

$$S_{ВхИБП} \approx (P_{ВыхИБП} + P_{ЗAB}) / (\psi_{ИБП} \cdot \eta_{ИБП}) = (1000 + 129) / (0,85 \cdot 0,89) = 1492 ВА.$$

Активную  $P_{ВхИБП}$ , Вт и реактивную  $Q_{ВхИБП}$ , ВАР составляющие мощности потребления ИБП можно подсчитать следующим образом:

$$P_{ВхИБП} = (P_{ВыхИБП} + P_{ЗАБ}) / \eta_{ИБП} = (1000 + 129) / 0,89 = 1268 \text{ Вт},$$

$$Q_{ВхИБП} = [(S_{ВхИБП})^2 - (P_{ВхИБП})^2]^{0,5} = (1492^2 - 1268^2)^{0,5} = 786 \text{ ВАР}.$$

Таблица 2.2 Варианты задания при  $\psi_{ИБП} = 0,85$ ,  $\eta_{ИБП} = 0,89$

Предпосл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{ВыхИБП}$ , Вт	800	820	850	880	900	950	1000	1200	1400	1500
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{Змах}$ , А	4,5	4,2	4,8	5	4	4,3	5,5	5,2	6	6.2
$U_3$ , В	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	25,8	38,7	38,7	38,7

### Задача №3 Расчет емкости аккумуляторных батарей источника бесперебойного питания переменного тока

Исходные данные.

Произвести упрощенный расчет емкости аккумуляторных батарей ИБП без учета падения напряжения в кабелях токораспределительной сети (ТРС) и ограничения напряжения разряда аккумуляторов. Для нагрузки общей мощностью  $P_H = 650 \text{ Вт}$ , с коэффициентом мощности  $\psi_H = 0,85$  и коэффициентом полезного действия источника бесперебойного питания  $\eta_{ИБП} = 0,9$  определить емкость свинцово – кислотных аккумуляторных батарей, если время аварийного питания нагрузки равно  $t_p = 0,5 \text{ часа}$ . Напряжение аккумуляторной батареи, используемой в ИБП составляет  $U_{AB} = 24 \text{ В}$ , а номинальное рабочее напряжение свинцово – кислотного аккумулятора (элемента) равно  $U_A = 2 \text{ В}$ .

Решение.

Количество аккумуляторных элементов в батарее свинцово – кислотного типа составляет величину:

$$n_A = U_{AB}/U_A = 24/2 = 12 \text{ элементов.}$$

Выходной ток ИБП равен:

$$I_H = P_H / (\psi_H \cdot U_{\text{выхИБП}}) = 650 / (0,85 \cdot 220) = 3,48 \text{ А, где выходное напряжение ИБП } U_{\text{выхИБП}} = 220 \text{ В.}$$

Этому току соответствует ток разряда  $I_P$  аккумуляторных батарей (во время аварийного разряда):

$$I_P = I_H \cdot U_{\text{выхИБП}} / U_{AB} \cdot \eta_{ИБП} = 3,48 \cdot 220 / 24 \cdot 0,9 = 35,4 \text{ А.}$$

Емкость аккумуляторных батарей  $C_{10}$  равна:

$$C_{10} = I_P \cdot t_p / \eta_Q [1 + 0,008(t_{Cp} - 20^\circ \text{C})] = 35,4 \cdot 0,5 / 0,51 [1 + 0,008(25 - 20)] = 17,7 / 0,53 = 33,4 \text{ А} \cdot \text{ч, здесь } \eta_Q = 0,51 \text{ – коэффициент отдачи заряда аккумулятора; } t_{Cp} = 25^\circ \text{C} \text{ – температура окружающей среды.}$$

Таблица 2.3 Варианты задания при  $\eta_{ИБП} = 0,9$ ,  $U_{AB} = 24 \text{ В}$

Предпол. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_H, \text{ Вт}$	800	820	850	880	900	950	1000	1200	1400	1500
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

$\psi_H$	0,75	0,78	0,8	0,82	0,84	0,83	0,85	0,87	0,9	0,95
$t_P, ч$	2,8	2,2	0,5	0,8	0,9	1,8	1,2	1,7	1,3	1,4

#### Задача №4 Расчет и выбор устройств бесперебойного электропитания постоянного тока

Исходные данные.

Найти количество выпрямительных модулей (с избыточным резервированием  $N+1$ ) установки бесперебойного питания с выходным напряжением –  $U_{Вых} = -24 В$ , если мощность одного модуля равна  $P_M = 1000 Вт$ , а коэффициент учета параллельного включения модулей равен  $k_{ПМ} = 0,95$ . Максимальный ток нагрузки (ток часа наибольшей нагрузки) составляет величину  $I_{ЧНН} = 45 А$ , а максимальный ток заряда аккумуляторных батарей  $I_{ЗАБ} = 10 А$ .

Решение.

Суммарный максимальный ток  $I_{\Sigma}$  системы бесперебойного электропитания постоянного тока (выпрямительного устройства ВУ) находится с помощью соотношения:

$$I_{\Sigma} = I_{ЧНН} + I_{ЗАБ} = 45 + 10 = 55 А.$$

Максимальный выходной ток модуля  $I_{ВыхМ}$  системы бесперебойного питания с учетом дальнейшего параллельного включения равен:

$$I_{ВыхМ} = k_{ПМ} \cdot P_M / U_{Вых} = 0,95 \cdot 1000 / 24 = 39,6 А.$$

Число модулей  $N_{ВУ}$  равно:

$$N_{ВУ} \geq (I_{\Sigma} / I_{ВыхМ}) + 1 = 55 / 39,6 + 1 = 2,3 \approx 3.$$

Таблица 2.4 Варианты задания при  $k_{ПМ} = 0,9$ ,  $U_{АБ} = -24 В$

Предпол. цф. ном. зачет. книж.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_M, Вт$	800	820	850	880	900	950	1000	1200	1400	1500
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{ЧНН}, А$	40	42	45	48	50	52	55	60	65	70
$I_{ЗАБ}, А$	8	8,2	8,5	8,8	8,9	9	9,2	9,7	9,3	9,4

## Задача №5 Расчет мощности, потребляемой установкой бесперебойного электропитания постоянного тока

Исходные данные.

Система бесперебойного питания постоянного тока используется для питания нагрузки общей мощностью  $P_H = 2400 \text{ Вт}$ . Система включает две свинцово – кислотных аккумуляторных батареи (горячий резерв) каждая емкостью  $C_{AB} = 120 \text{ А} \cdot \text{ч}$ , напряжением  $U_H = 24 \text{ В}$ . Определить максимальную мощность потребления  $P_B$  системы бесперебойного питания от трехфазной электросети  $U_{ЭС} = 380 \text{ В}$ ,  $f_{ЭС} = 50 \text{ Гц}$  переменного тока, если КПД системы бесперебойного электропитания  $\eta_B = 0,94$ , а максимальный ток заряда  $I_{ПЗ} = 25 \text{ А}$ .

Решение.

Ток нагрузки системы бесперебойного электропитания равен:

$$I_H = P_H / U_H = 2400 / 24 = 100 \text{ А}.$$

Напряжение заряда  $U_{ПЗ} \approx 2,14 + 0,14 = 2,28 \text{ В}$ , где напряжение свинцово – кислотного аккумуляторного элемента равна  $2,14 \text{ В}$  (холостой ход), избыточное напряжение  $0,14 \text{ В}$ , обеспечивающее заданный ток заряда.

Количество аккумуляторных элементов в батарее  $n_A = U_H / U_A = 24 / 2 = 12$ , где  $U_A = 2 \text{ В}$  – номинальное рабочее напряжение свинцово – кислотного аккумуляторного элемента (при токе разряда  $10 \text{ А}$ ).

Максимальное значение активной мощности, потребляемой системой бесперебойного электропитания постоянного тока в условиях нормального электроснабжения находится с помощью соотношения:

$$P_B = (I_H + I_{ПЗ}) \cdot n_A \cdot U_{ПЗ} / \eta_B = (100 + 25) \cdot 12 \cdot 2,28 / 0,94 = 3638 \text{ Вт}.$$

Таблица 2.5 Варианты задания при  $U_C = 380 \text{ В}$ ,  $f_C = 50 \text{ Гц}$ ,  $\eta_B = 0,9$ ,  $U_H = 24 \text{ В}$

Предпол. цф. ном. зачет. книж.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_M, \text{ Вт}$	2800	2400	2550	2200	2900	2500	3200	1800	1700	1600
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C_{AB}, \text{ А} \cdot \text{ч}$	140	150	160	170	125	130	135	180	190	200
$U_H, \text{ В}$	48	24	24	24	48	48	48	12	12	12



## Задача 6 Расчет аккумуляторной батареи электропитающей установки (ЭПУ) постоянного тока.

Исходные данные.

Для ЭПУ постоянного тока с выходным напряжением  $U_H = -48 \text{ В}$  определить емкость аккумуляторных свинцово – кислотных элементов и их число в батарее, если ток разряда часа наибольшей нагрузки  $I_{CHH} = 35 \text{ А}$ , а максимальное время разряда  $t_{Pmax} = 2 \text{ часа}$ , при температуре в аккумуляторном контейнере  $t_{CP} = 22^\circ \text{ С}$ . Считать, что потери в токо – распределительной сети установки постоянного тока составляют  $\Delta U_{TPC} \approx 0,04 U_H$ , а коэффициент отдачи аккумуляторных элементов  $\eta_Q = 0,85$ . Допустимое отклонение выходного напряжения ЭПУ (аккумуляторной батареи) принять равным  $\Delta U_H = 0,15 U_H$  (в нашем случае  $7,5 \text{ В}$ ).

Решение.

Определяем число элементов  $n_A$  в аккумуляторной батарее с учетом падения напряжения в ТРС:

$n_A = (U_H + \Delta U_{TPC}) / U_A = (48 + 0,04 \cdot 48) / 2 = 24,96 \approx 25$ , где номинальное напряжение на элементе принимается равным  $U_A = 2 \text{ В}$ . Число  $n_A$  округляется до целого числа в большую сторону.

Далее проверяется минимально допустимый уровень напряжения нагрузки при разряде аккумуляторной батареи с учетом минимального допустимого напряжения на одном элементе, которое для свинцово – кислотных аккумуляторов равно  $U_{AKP} = 1,75 \text{ В}$ .

Минимальное напряжение нагрузки равно:

$$U_{Hmin} = U_{AKP} \cdot n_A = 1,75 \cdot 25 = 43,75 \text{ В}.$$

Заданное минимально допустимое напряжение (с учетом потерь в электросети) составляет:

$$U_{HDon} = U_H - \Delta U_H = 48 - 7,5 = 40,5 \text{ В}, \text{ в результате имеем:}$$

$$U_{Hmin} > U_{HDon} = 40,5$$

Находим необходимую расчетную емкость  $C_{10}^I$  аккумуляторов ЭПУ постоянного тока

$$C_{10}^I = I_{tP} / [\eta_Q (1 + 0,008 \{t_{CP} - 20^\circ \text{C}\})] = 35 \cdot 2 / [0,85 (1 + 0,008 \{22 - 20\})] = 70 / 0,86 = 81 \text{ Ач}.$$

Значение рассчитанной емкости получено для двухгруппной аккумуляторной батареи. Емкость каждого аккумуляторного элемента (в одной группе  $C_{10}^I / 2$ ) выбираем  $45 \text{ Ач}$ , напряжение -  $2 \text{ В}$ . Двухгруппная аккумуляторная

батарея состоит из двух групп (линеек) аккумуляторов по 25 штук каждая. По таблице ПЗ, П4 выбираем соответствующий 10-часовому режиму разряда аккумулятор по ближайшему большему значению номинальной емкости  $C_{10} \geq C_{10}^I$  и номинальному напряжению. Последовательно можно включать только элементы или блоки одинакового типа и емкости.

Таблица 2.6 Варианты задания при  $k_{ПМ}=0,9$ ,  $U_{AB} = -24 В$

Предпол. цф. ном. зачет. книж.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{Pmax}$ , час	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,75	0,5	0,25
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_{CHH}$ , А	40	42	45	48	50	52	55	60	65	70
$I_{ЗAB}$ , А	8	8,2	8,5	8,8	8,9	9	9,2	9,7	9,3	9,4

### Задача №7 Расчет общей мощности потребления системы электропитания

Исходные данные.

Мощность потребления часа наибольшей нагрузки для потребителей первой категории имеет следующие значения:

- мощность (активная составляющая) источников бесперебойного питания переменного тока  $P_{ИБП} = 12 \text{ кВт}$ , общий коэффициент мощности  $\psi = 0,85$ ;
- мощность (активная составляющая) выпрямительных устройств  $P_B = 4,7 \text{ кВт}$ , общий коэффициент мощности  $\psi_B = 0,75$ ;
- мощность (активная составляющая) системы вентиляции и кондиционирования  $P_K = 9 \text{ кВт}$ , общий коэффициент мощности  $\cos \varphi_K = 0,7$  (нагрузка практически линейная);
- мощность (активная составляющая) системы аварийного освещения  $P_{Oc} = 3,9 \text{ кВт}$ , общий коэффициент мощности  $\cos \varphi_{Oc} = 0,8$  (нагрузка практически линейная).

Максимальная мощность потребления нагрузки для потребителей второй категории имеет следующие значения:

- мощность потребления (активная составляющая) зала обслуживания  $P_{Oб} = 11 \text{ кВт}$ , общий коэффициент мощности  $\psi_{Oб} = 0,7$ .

Мощность потребления нагрузки для потребителей третьей категории имеет следующие значения:

- мощность (активная составляющая) хозяйственных нужд  $P_{ХН} = 19 \text{ кВт}$ , общий коэффициент мощности  $\cos \varphi_{ХН} = 0,7$ , максимальный коэффициент загрузки  $\beta \approx 0,9$ .

Найти общую мощность потребления и коэффициент мощности нагрузки.  
Решение.

Находим значения реактивных составляющих мощностей потребителей электроэнергии. Мощность (полная и реактивная составляющие) систем бесперебойного питания переменного тока  $S_{ИБП} = P_{ИБП} / \psi_{ИБП} = 12 / 0,85 = 14,1 \text{ кВА}$ ,  $Q_{ИБП} = [(S_{ИБП})^2 - (P_{ИБП})^2]^{0,5} = [(14,1)^2 - (12)^2]^{0,5} = 7,4 \text{ кВАР}$ .

Мощность (полная и реактивная составляющие) выпрямительных устройств  $S_B = P_B / \psi_B = 4,7 / 0,75 = 6,3 \text{ кВА}$ ,  $Q_B = [(S_B)^2 - (P_B)^2]^{0,5} = [(6,3)^2 - (4,7)^2]^{0,5} = 4,1 \text{ кВАР}$

Мощность (полная и реактивная составляющие) системы вентиляции и кондиционирования  $S_K = P_K / \cos \varphi_K = 9 / 0,7 = 12,9 \text{ кВА}$ ,  $Q_K = [(S_K)^2 - (P_K)^2]^{0,5} = [(12,9)^2 - (9)^2]^{0,5} = 9,24 \text{ кВАР}$ .

Мощность (полная и реактивная составляющие) системы аварийного освещения  $S_{Oc} = P_{Oc} / \cos \varphi_{Oc} = 3,9 / 0,8 = 4,9 \text{ кВА}$ ,  $Q_{Oc} = [(S_{Oc})^2 - (P_{Oc})^2]^{0,5} = [(4,9)^2 - (3,9)^2]^{0,5} = 3 \text{ кВАР}$ .

Мощность (полная и реактивная составляющие) зала обслуживания  $S_{Ob} = P_{Ob} / \psi_{Ob} = 11 / 0,7 = 15,7 \text{ кВА}$ ,  $Q_{Ob} = [(S_{Ob})^2 - (P_{Ob})^2]^{0,5} = [(15,7)^2 - (11)^2]^{0,5} = 11,2 \text{ кВАР}$ .

Мощность (полная и реактивная составляющие) хозяйственных нужд  $S_{ХН} = P_{ХН} / \cos \varphi_{ХН} = 19 / 0,7 = 27,1 \text{ кВА}$ ,  $Q_{ХН} = [(S_{ХН})^2 - (P_{ХН})^2]^{0,5} = [(27,1)^2 - (19)^2]^{0,5} = 19,3 \text{ кВАР}$

Находим суммарную активную мощность всех потребителей переменного тока  $\Sigma P = P_{ИБП} + P_B + P_{АО} + P_K + Q_{Ob} + \beta \cdot P_{ХН} = 12 + 4,7 + 9 + 3,9 + 11 + 0,9 \cdot 19 = 57,7 \text{ кВт}$

Находим суммарную реактивную мощность всех потребителей переменного тока  $\Sigma Q = Q_{ИБП} + Q_B + Q_{Oc} + Q_K + Q_{Ob} + Q_{ХН} = 7,4 + 4,1 + 9,24 + 3 + 11,2 + 0,9 \cdot 19,3 = 52,3 \text{ кВАР}$ .

Полная мощность  $S_{Пот}$ , потребляемая системой электропитания от сети переменного тока будет равна:  $S=[(\sum P)^2+(\sum Q)^2]^{0,5}=[57,7^2+52,3^2]^{0,5}=77,9\text{кВА}$ , а коэффициент мощности  $\psi=P/S=57,7/77,9=0,74$ .

Таблица 2.7 Варианты задания при  $\beta \approx 0,9$

Предпол. цф. ном. зачет. книж.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{ИБП}, \text{кВт}, \psi=0,85$	800	820	850	880	900	950	1000	1200	1400	1500
$P_B, \text{кВт}, \psi_B=0,75$	40	42	45	48	50	52	55	60	65	70
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{Об}, \text{кВт}, \psi_{Об}=0,7$	8	8,2	8,5	8,8	8,9	9	9,2	9,7	9,3	9,4
$P_{ХН}, \text{кВт}, \cos \varphi_{ХН}=0,7$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

### Задача №8 Расчет заземляющего устройства

Исходные данные.

Заземляющее устройство выполнено на основе стального (с защитным покрытием) уголка с шириной стороны  $a=40\text{ мм}$ . Стержень имеет длину  $l=4500\text{ мм}$  и углублен на  $h=50\text{ см}$  в грунт типа суглинок. Найти сопротивление заземлителя. Определить число необходимых заземлителей для обеспечения сопротивления заземления  $R_0=4\text{ Ом}$ .

Решение.

Для заземлителя из стального уголка с шириной стороны  $a=40\text{ мм}$  эквивалентный диаметр равен  $d \approx 0,9a = 0,9 \cdot 40 = 36\text{ мм}$ . По таблице П15 находим удельное сопротивление грунта типа суглинок:  $\rho=100\text{ Ом}\cdot\text{м}$ . Расстояние от поверхности земли до середины электрода заземлителя:

$$t=h+0,5l=0,5+2,25=2,75\text{ м}.$$

Величина сопротивления растеканию тока такого заземлителя находится по формуле (3.9):

Рассчитываем сопротивление  $R_B, \text{ Ом}$  одного вертикального электрода:

$$\begin{aligned} R_B &= 0,366(\rho/l) \cdot [\lg(2l/d) + 0,5 \lg\{(4t+l)/(4t-l)\}] = \\ &= 0,366 \cdot (100/4,5) [\lg(2 \cdot 4,5/0,036) + 0,5 \lg\{(4 \cdot 2,75+4,5)/(4 \cdot 2,75-4,5)\}] = \\ &= 8,13 [\lg 264,71 + 0,5 \lg(15,5/6,5)] = 8,13 [2,42 + 0,19] = 21,22\text{ Ом} \end{aligned}$$

Воспользуемся соотношением (3.11) для нескольких идентичных заземлителей  $R_O = R_B/n$ , из которого следует:

$$n \geq R_B/R_O = 21,22/4 = 5,3.$$

Откуда число заземлителей равно  $n=6$ .

Таблица 2.9 Варианты задания при  $h=50$  см,  $R_O=4$  Ом, почва – суглинок.

Предпол. цф. ном. зачет. книж.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$a$ , мм	32	32	40	40	45	60	60	60	45	60
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$L$ , мм	4000	4200	4500	4800	5000	5200	5500	6000	6500	7000

### Задача № 9 Расчет сечения кабеля токораспределительной сети

Исходные данные.

Мощность потребления группы компьютеров локальной вычислительной сети от общего источника бесперебойного питания  $P=2$  кВт при напряжении  $U_{ЭС}=220$  В. Допустимое падение напряжения  $\Delta U=4$  В в кабеле электропитания длиной  $l=50$  м. Найти сечение кабеля по допустимой потере напряжения.

Решение.

В процентном отношении допустимое падение напряжения составляет

$$\Delta U\% = 100 \cdot \Delta U / U_{ЭС} = 100 \cdot 4 / 220 = 1,82\%$$

Сечение кабеля для однофазной сети с сосредоточенной нагрузкой в конце линии рассчитываем по формуле:

$$S_P = Pl \cdot 10^5 / [\sigma (U_{ЭС})^2 \Delta U\%] = 2 \cdot 50 \cdot 10^5 / [34,5 \cdot 220^2 \cdot 1,82] = 10 \cdot 10^6 / 3,04 \cdot 10^6 = 3,29 \text{ мм}^2,$$

где:  $\sigma$  - удельная проводимость алюминия  $34,5$  м/(Ом·мм<sup>2</sup>).

Выбираем сечение двухжильного кабеля алюминиевого АВВГ по таблице П9  $S=4$  мм<sup>2</sup> (должно быть  $S > S_P$ ).

Определим толщину проводника  $S_{\Sigma}$ , из условия допустимой экономически оптимальной плотности тока  $\delta_{\Sigma}=2,1 \text{ А/мм}^2$ . Для этого найдем значение расчетного тока:

$$I_P = P/U_{\Sigma C} = 2000/220 = 9 \text{ А.}$$

$S_{\Sigma}=I_P/\delta_{\Sigma} = 9/2,1 = 4,5 \text{ мм}^2$ , где:  $\delta_{\Sigma}= 2,1 \text{ А/мм}^2$ - экономическая плотность тока при использовании провода на расчетной нагрузке 3000 – 5000 часов в год. При этом условии принимаем толщину проводника равной  $S_{\Sigma I}= 5 \text{ мм}^2$ .

При использовании провода в течение времени более 5000 часов в год рекомендуется принять  $I_{\Sigma I}= 1,1 \text{ А/мм}^2$ . При этом условии принимаем толщину проводника равной  $S_{\Sigma I}= 1 \text{ мм}^2$ .

Таблица 2.11 Варианты задания при  $U_{\Phi}=220 \text{ В}$ ,  $l=50 \text{ м}$ ,  $\delta_{\Sigma}= 2,1 \text{ А/мм}^2$

Предпол. цф. ном. зачет. книж.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность потребления от ИБП $S$ , $\text{kVA}$	3	4	5	2,5	4,5	3,5	1,5	2,8	3,2	2,2
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Допустимое падение напряжения $\Delta U=4 \text{ В}$	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4,5	5	2,25

### Задача №10 Приближенный расчет мощности дизельной электрической станции

Исходные данные.

Устройства – потребители электроэнергии, вырабатываемой автономной дизельной электростанцией, имеют следующие характеристики. Выходная (номинальная) мощность ИБП  $P_{ИБП}= 10000 \text{ Вт}$ , коэффициент мощности  $\psi_{ИБП}= 0,91$ ; коэффициент полезного действия  $\eta_{ИБП}= 0,92$ . Номинальная мощность заряда аккумуляторных батарей ИБП  $P_{ЗА}= 2000 \text{ Вт}$ , коэффициент мощности устройств заряда аккумуляторных батарей  $\psi_{ЗА}= 0,91$ , коэффициент полезного действия устройств заряда аккумуляторных батарей  $\eta_{ЗА}= 0,92$ . Мощность других потребителей  $P_{ДП}= 28000 \text{ Вт}$ , коэффициент мощности  $\psi_{ДП}= 0,7$ ; коэффициент запаса по мощности  $m= 1,2$ , коэффициент режима работы (резервный)  $q= 100$ .

Расчет.

Приближенное значение мощности дизельной электростанции:

$$P_{ДЭС} = (100m/q) \cdot (P_{ИБП}/\psi_{ИБП}\eta_{ИБП} + P_{ЗА}/\psi_{ИБП}\eta_{ЗА} + P_{ДП}/\psi_{ДП}) = (100 \cdot 1,2/100) \cdot (10000/0,91 \cdot 0,92 + 2000/0,91 \cdot 0,92 + 28000/0,7) = 1,2 \cdot (11940 + 2390 + 40000) = 65,196 \text{ кВт}.$$

Таблица 2.12 Варианты задания при  $P_{ДП} = 28000 \text{ Вт}$ ,  $\psi_{ДП} = 0,7$ ,  $m = 1,2$ ,  $q = 100$

Предпол. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность ИБП $P_{ИБП}$ , кВт, $\psi_{ИБП} = 0,9$ , $\eta_{ИБП} = 0,94$	8	8,5	9	9,5	10,5	11	11,5	12	12,5	13
Посл. цф. ном. зачет. книж	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Мощность заряда аккумуляторных батарей $P_{ЗА}$ , кВт, $\psi_{ЗА} = 0,9$ , $\eta_{ЗА} = 0,94$	1,5	1,7	1,8	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	2,5	2,9

## Приложение

Таблица П.1 Рекомендуемые значения коэффициента отдачи аккумуляторных батарей по емкости

$t_p, ч$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$\eta_D$	1	0,97	0,94	0,91	0,89	0,83	0,8	0,75	0,61	0,51

Таблица П2 - Ориентировочные значения напряжения аккумуляторных батарей источников бесперебойного питания переменного тока.

Выходная мощность ИБП, кВт	< 1	1- 3	3-6	6-10	10-15	15-20	> 20
Напряжение аккумуляторных батарей, В	12	24	36	48	60	96	120

Таблица П3 - Стационарные кислотные аккумуляторы для ИИБ и телекоммуникаций фирмы HAWKER

Тип элемента	OpzS, OpzSc	OP, OPC	PLA NTE	V <sub>B</sub>	Power Safe			PHEBVS	SBS	OPzV
					VE	V, VF	HR			
Технология	Обслуживаемые со свободным электролитом				Необслуживаемые с рекомбина- цией газа. Электролит сорбирован в сепараторе					Элек- тролит (гель)
Емкость, <i>А·ч</i>	<i>200- 12000</i>	<i>73- 732</i>	<i>18- 2266</i>	<i>250- 2100</i>	<i>38- 550</i>	<i>20- 1770</i>		<i>1-40</i>	<i>7-350</i>	<i>200- 3000</i>
Напряже- ние, <i>В</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2, 6, 12</i>	<i>2, 4, 6, 12</i>	<i>6, 12</i>	<i>6, 12</i>	<i>2, 4, 6, 12</i>	<i>2</i>
Время раз- ряда	<i>30 мин – 10 ч</i>	<i>5мин –10 ч</i>	<i>1мин –10 ч</i>	<i>5мин –10 ч</i>	<i>5 мин –10 ч</i>	<i>5 мин –3 ч</i>	<i>5 мин –10 ч</i>	<i>5 мин – 10 ч</i>	<i>1 мин –10 ч</i>	<i>1 ч – 20 ч</i>
Обслужи- вание, <i>лет</i>	Добавление воды				Необслуживаемые					
	<i>1...6</i>	<i>1...3</i>	<i>1...2</i>	<i>1...3</i>						
Срок служ- бы, <i>лет</i>	<i>15</i>	<i>12</i>	<i>25</i>	<i>20</i>	<i>12</i>	<i>14</i>	<i>10</i>	<i>3...5</i>	<i>13</i>	<i>15</i>



Таблица П4 - Электрические параметры аккумуляторов при 10-часовом режиме разряда

Изготовитель, марка	Тип	Технология	Напряжение, <i>B</i>	Емкость, <i>C</i> <sub>10</sub> , <i>A·ч</i>
HAWKER, PHE BVS	6SC4	Электролит сорбирован в сепараторе	<i>6</i>	<i>6</i>
	6SC10		<i>6</i>	<i>10</i>
	12SC24		<i>12</i>	<i>24</i>
	12SC40		<i>12</i>	<i>40</i>
HAWKER, POWER Safer	12V20	С рекомбинаци- ей газа и предо- хранительным клапаном	<i>12</i>	<i>22</i>
	12V57		<i>12</i>	<i>68</i>
	12V80		<i>12</i>	<i>79</i>
	8V100F		<i>8</i>	<i>100</i>
	4V105		<i>4</i>	<i>103</i>
	6V105		<i>6</i>	<i>103</i>
	4V155		<i>4</i>	<i>154</i>
	6V155		<i>6</i>	<i>154</i>
	2V200		<i>2</i>	<i>200</i>
	4V230		<i>4</i>	<i>231</i>
	2V275		<i>2</i>	<i>275</i>
	2V320		<i>2</i>	<i>320</i>
	2V460		<i>2</i>	<i>460</i>
	2V500		<i>2</i>	<i>500</i>
	4V525		<i>4</i>	<i>524</i>
	6V525		<i>6</i>	<i>524</i>
	2V915		<i>2</i>	<i>917</i>
	2V1575		<i>2</i>	<i>1573</i>
	2V1770		<i>2</i>	<i>1769</i>
	12VE50		<i>12</i>	<i>46</i>
	12VE90		<i>12</i>	<i>79</i>
	6VE140		<i>6</i>	<i>132</i>
	2VE170		<i>2</i>	<i>152</i>
	6VE180		<i>6</i>	<i>165</i>
	2VE310		<i>2</i>	<i>275</i>

	2VE450		2	400
	2VE540		2	500
	6MLTC100		12	100
	6MLTC150		12	162
	3MLTC200		6	200
	3MLTC250		6	265
	3MLTC300		6	300
HAWKER, ESPACE RG	12RG24	С микропорис- тым сепарато- ром, рекомбина- цией газа и пре- дохранительным клапаном	12	24
	12RG40		12	40
	12RG70		12	70
	6RG70		6	70
	12RG85		12	85
	6RG110		6	110
	2RG135		2	135
	6RG140		6	140
	2RG200		2	200
	2RG250		2	250
	2RG310		2	310
	2RG400		2	400
	2RG450		2	450
	2RG550		2	550
ESPACE HI	12HI20	Герметизиро- ванные, с ре- комбинацией га- за и предохра- нительным кла- паном	12	22
	12HI40		12	42
	12HI60		12	64
	6HI60		6	64
	6HI100		6	102
	2HI120		2	121
	6HI130		6	132
	2HI200		2	200
	2HI275		2	275
	2HI400		2	400
	2HI500		2	500
COSLIGHT GFM (Z)	6GFM50C	Герметизиро- ванные, с ре-	12	50
	6GFM80C		12	80

	6GFM120C	комбинацией газа и предохранительным клапаном	12	120
	6GFM200		12	200
	GFM200Z		2	200
	GFM300Z		2	300
	GFM500Z		2	500
	GFM800Z		2	800
	GFM1300Z		2	1300
	GFM2000Z		2	2000
	GFM3000Z		2	3000
	GFM3900Z		2	3900

Таблица П5 - Технические характеристики выпрямительных устройств

Тип, изготовитель	Модель	Число параллельных модулей в одном выпрямителе	Напряжение, $V$	Максимальный выходной ток, $A$ (ток одного модуля)
MPSU «OLDAM», $\eta \geq 91\%$ , $\delta \leq 1\%$ $\cos \varphi = 0,98$	MPSU 4000 цифровой контроль	1...4	24	148 (37)
			48	83 (21)
			60	66 (17)
PRS «OLDAM» $\eta \geq 91\%$ $\delta \leq 1\%$ $\cos \varphi = 0,98$	PRS I цифровой контроль	1...7	24	260 (37)
			48	144 (21)
			60	116 (17)
	PRS II цифровой контроль	1...14	24	520 (37)
			48	288 (21)
			60	232 (17)
	PRS III, цифровой контроль	1...21	24	780 (37)
			48	432 (21)
			60	348 (17)
ИБП «Связь инжиниринг» $\delta \leq 1\%$	ИБП-1, аналоговая аппаратура контроля	3, 4, 6, 7	24	308 (44)
		2, 3, 4, 8, 9, 12	48	264 (22)
		2, 3, 4, 6, 8, 9	60	171 (19)
	ИБП-3, цифровой	3, 4, 9	24	396 (44)

ИБП «Связь инжиниринг» $\delta \leq 1\%$	контроль, $\eta \approx 88\%$ , $\cos \varphi = 0,8$	2, 3, 4, 9, 12, 18, 24	48	528 (22)
		3, 4, 7, 9	60	171 (19)
	ИБП-4, цифровой контроль, $\eta \approx 91\%$ $\cos \varphi = 0,99$	3, 6, 9, 12	24	1200 (100)
		3, 6, 9, 12	48	600 (50)
	ИБП-5, цифровой контроль, $\eta \approx 88\%$ $\cos \varphi = 0,8$	3, 6, 9, 12	60	480 (40)
		4, 6	24	132 (22)
		4, 6	48	66 (11)
		4, 6	60	54 (9)
УЭПС, СУЭП ОАО Юрьев- Польский завод «Промсвязь» $\eta \approx 85\%$ , $\cos \varphi = 0,95$ , $\delta = 2\%$	УЭПС-2	1...4	60	60 (15)
		1...4	48	80 (20)
		1...6	48	120 (20)
		1...3	24	60 (20)
		1...3	24	120 (40)
		1...5	24	200 (40)
		1...10	24	400 (40)
	СУЭП-2	1...12	60	300 (25)
		1...8	60	200 (25)
		1...12	48	360 (30)
		1...8	48	240 (30)
		1...4	48	120 (30)

Примечание: Выходные напряжения промышленных выпрямителей могут регулироваться в пределах не менее чем на  $\pm 10\%$  от номинального  $U_0$ .

Таблица П6 - Технические характеристики источников бесперебойного питания переменного тока модульного типа

№	Производитель	Модель	Мощность, кВА	
			устройство	модуль
	APC	Symmetra Power Array	16	4
	APC	Symmetra RM	6	2
	APC	Symmetra LX	16	4
	APC	Symmetra PX	40 — 80	10
	APC	Symmetra MW	1600	200
	Liebert-Hiross	Nfinity	16	4

	Newave UPS Systems	Minipower Tower	8	1
	Newave UPS Systems	Minipower Rack	4	1
	Newave UPS Systems	ConceptPower / Upgrade Line	30 - 300 и более	10-15-20-30-40-60-80-100
	PK Electronics	US 9003	4,8	0,4
	PK Electronics	US 9001	144	1
	Eaton-Powervare	9170	18	3
	Socomec-Sicon	Modulys	18	1,5

Таблица П7 - Характеристики автоматических выключателей

Тип	Номинальный ток, А	Количество полюсов, шт.	Номинальное рабочее напряжение, 50/60 Гц, В	Замыкающая способность, кА	Число переключений при номинальной нагрузке
BA 69-29	2, 4, 6, 10, 16, 20, 25, 32, 40	1, 3	230, 400	6	20000
	50, 63	1, 3	230, 400	4	
BA 69-100	80	1	230/400	10	—
	100	3	400	10	
DPX-125 (фирма Legrand)	16, 25, 40, 63, 100, 125	1,3,4	500 В ~ 250 В =	16 30	8500 механ. 4500 электр.
DPX-160	25, 40, 63, 100, 160	3,4	500 В ~ 250 В =	36	7000, 1000
DPX-250	25, 40, 63, 100, 160, 250	3,4	690 В ~ 250 В =	36	7000 1000
DPX-400	250, 320, 400	3,4	690 В ~ 250 В =	36	4000 1000
DPX-630	160, 250, 400, 630	3,4	690 В ~	36	4000
DPX-1250	500, 630, 800, 1000, 1250	3,4	690 В ~ 250 В =	50	—
DPX-1600	630, 800, 1250, 1600	3,4	690 В ~	50	—

Таблица П8 - Допустимые токовые нагрузки медных четырехжильных кабелей на напряжение до 1 кВ.

Сечение основной жилы, мм <sup>2</sup>	Сопротивление одной жилы постоянному току, Ом/км	Допустимый ток, А	
		Кабели в свинцовой или алюминиевой оболочке, прокладываемые в земле (ВБбШв; ВБбШп; СБВ)	Кабели в свинцовой оболочке, прокладываемые на воздухе (СБШв; СБГ; СБ2л; СРБГ)
4	4,7	35	35
6	3,11	45	45
10	1,84	60	60
16	1,16	80	80
25	0,734	100	100
35	0,529	120	120
50	0,391	145	145
70	0,27	185	185
95	0,195	215	215
120	0,154	350	260
150	0,126	395	300
185	0,100	450	340

Таблица П9 - Кабель алюминиевый АВВГ.

Наименование параметров		Параметр	Значения параметров														
Сечение			$S, \text{мм}^2$	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Максимальный допустимый	Одно-жильный	Ток, А	23	31	38	60	75	105	130	165	210	250	295	340	395	465	
	Двух-жильный	Ток, А	21	29	38	55	70	90	105	135	165	200	230	270	310	-	
	Четырех-жильный	Ток, А	19	27	32	42	60	75	90	110	140	170	200	235	270	-	

Таблица П10 - Кабель медный ВВГ.

Наименование параметров		Обозначение	Значения параметров							
Сечение		$S, \text{мм}^2$	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35
Максимальный допустимый ток	Одножильный кабель	Ток, $A$	23	30	41	50	80	100	140	170
	Двухжильный	Ток, $A$	19	27	38	50	70	90	115	140
	Четырех-жильный	Ток, $A$	19	25	35	42	55	75	95	120

Таблица П11 - Типовые шинопроводы

Тип шинопровода	Номинальный ток, $A$	Сопротивление на фазу, $\text{Ом/км}$	Тип шинопровода	Номинальный ток, $A$	Сопротивление на фазу, $\text{Ом/км}$
ШМА 73	1600	0,031	ШРА У	630	0,085
ШМА 68Н	2500	0,027	ШРА 73	250	0,2
	4000	0,013	ШРМ 75	100/250	0,75
ШРА 74	400	0,15	ШЗМ 16	1600	0,018
	630	0,14			

Таблица П12 - Конденсаторные установки низкого напряжения, регулируемые, многоступенчатые, модифицированные

Типономинал конденсаторных установок	Номинальное напряжение, $\text{кВ}$	Номинальная мощность, $\text{кВАр}$	Количество и номинальная мощность ступени, $\text{кВАр}$	Технические особенности, ГОСТ, ТУ
УКМ63-0,4-50-12,5 У3	0.4	50	$2 \times 12,5 + 25$	Специализированные регуляторы NOVAR производства фирм КМВ
УКМ63-0,4-62,5-12,5 У3		62.5	$12,5 + 2 \times 25$	
УКМ63-0,4-75-12,5 У3		75	$2 \times 12,5 + 2 \times 25$	
УКМ63-0,4-87,5-12,5 У3		87.5	$12,5 + 3 \times 25$	
УКМ63-0,4-100-25 У3		100	$2 \times 25 + 50$	

УКМ63-0,4-112,5-12,5 У3		112,5	12,5+4×25	SYSTEM
УКМ63-0,4-125-12,5 У3		125	2×12,5+2×25+50	Тип конденса- торов – КПС (самовосста- навливающие- ся)
УКМ63-0,4-150-25 У3		150	2×25+2×50	
УКМ63-0,4-150-50 У3			3×50	Контракторы фирмы EPCOS с кон- тактами опе- режающего включения
УКМ63-0,4-175-25 У3		175	25+3×50	
УКМ63-0,4-200-25 У3		200	2×25+3×50	Выключатель- предохрани- тель RBK фирмы APATORSA
УКМ63-0,4-200-50 У3			4×50	
УКМ63-0,4-225-25 У3		225	25+4×50	
УКМ63-0,4-250-25 У3		250	2×25+4×50	
УКМ63-0,4-250-50 У3			5×50	
УКМ63-0,4-275-25 У3		275	25+5×50	
УКМ63-0,4-300-25 У3		300	2×25+5×50	
УКМ63-0,4-300-50 У3			6×50	
УКМ63-0,4-325-25 У3		325	2×25+50+3×75	
УКМ63-0,4-350-25 У3		350	2×25+6×50	
УКМ63-0,4-350-50 У3			7×50	
УКМ63-0,4-400-25 У3		400	2×25+7×50	
УКМ63-0,4-400-50 У3			8×50	
УКМ63-0,4-450-25 У3		450	25+50+5×75	
УКМ63-0,4-450-50 У3			9×50	
УКМ63-0,4-500-25 У3		500	2×25+9×50	
УКМ63-0,4-500-50 У3			10×50	
УКМ63-0,4-550-25 У3		550	2×25+10×50	
УКМ63-0,4-550-50 У3			11×50	
УКМ63-0,4-600-50 У3		600	12×50	

Таблица П13 Разновидность почв и их удельное сопротивление

Тип грунта	Удельное сопротивление (Ом·м)
Каменистый грунт, граниты, гнейсы	700÷10 <sup>6</sup>
Сланец глинистый, известняк, ракушечник	100÷1000
Песок при залегании грунтовых вод глубже 5 м	1000
Почва (чернозем и др.)	200
Суглинок полутвердый или лессовидный	100
Мел или глина полутвердая	60



Суглинок пластичный	30
Торф, глина пластичная	20
Подземные водоносные слои	5÷50

#### Список литературных источников:

1. Битюков, В. К. Источники вторичного электропитания : учебник / В. К. Битюков, Д. С. Симачков, В. П. Бабенко. — 5-е изд. — Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. — 376 с. — ISBN 978-5-9729-1647-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/429641> (дата обращения: 18.07.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Сажнев, А. М. Электропитание радиоэлектронных средств: учебное пособие / А. М. Сажнев, Л. Г. Рогулина. — Новосибирск : НГТУ, 2023. — 242 с. — ISBN 978-5-7782-4986-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/404639> (дата обращения: 12.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Демьянов, В. В. Электропитание устройств автоматики, телемеханики и связи: практикум : учебное пособие / В. В. Демьянов, М. Э. Скоробогатов. — Иркутск : ИрГУПС, 2023. — 116 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/397499> (дата обращения: 12.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Сажнев А.М. Источники бесперебойного электропитания переменного тока [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Сажнев А.М., Рогулина Л.Г. — Электрон. текстовые данные. Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2015.-312 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55478>
5. Бокуняев А.А. и др. Электропитание устройств связи: Учебник для вузов. Под ред. Ю.Д. Козляева-М.: Радио и связь,1998 -328с.
6. Китаев В.Е. и др. Расчёт источников электропитания устройств связи: Учебное пособие для вузов. Под ред. А.А. Бокуняева.- М.: Радио и связь,1993 –232с.

7. Поликарпов А.Г., Сергиенко Е.Ф. Однотактные преобразователи напряжения в устройствах электропитания РЭА- М.: Радио и связь, 1989, - 160с.
8. Михайлова М.М. и др. Магнито мягкие ферриты для радиоэлектронной аппаратуры: Справочник. Под ред. А.Е. Оборонко. - М.: Радио и связь, 1983,-576с.