



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ**

Кафедра Электротехники

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания и задания к расчетно-графическим работам № 1-4
для студентов специальности бакалавриата 5В071700 – Теплоэнергетика

Алматы 2019

СОСТАВИТЕЛИ: А. С. Баймаганов. Методические указания и задания к расчетно-графическим работам по дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов специальности бакалавриата 5В071700 – Теплоэнергетика. – Алматы: АУЭС, 2019. – 30 с.

Методическая разработка включает в себя методические указания и задания к четырем расчетно-графическим работам по основным разделам курса дисциплины «Электротехника и электроника».

Выполнение расчетно-графических работ поможет студентам усвоить методы расчета линейных электрических цепей постоянного и трехфазного синусоидального токов, ознакомиться с проблемой компенсации реактивной мощности. А также, приобрести навыки расчета параметров и механической характеристики асинхронных двигателей, усвоить критерии расчета и выбора силовых компонентов вторичных источников электропитания, в частности, импульсных стабилизаторов напряжения.

Задания к расчетно-графическим работам разработаны для студентов специальности бакалавриата 5В071700 – Теплоэнергетика.

Ил. 12, табл. 11, библиограф. – 11 назв.

Рецензент: к.т.н., профессор М. М. Аршидинов

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2019 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2019 г.

Введение

Настоящая работа включает в себя методические указания и задания к расчетно-графическим работам по дисциплине «Электротехника и электроника» для студентов специальности бакалавриата 5В071700 – Теплоэнергетика.

Согласно учебному плану на изучение этой дисциплины отводится всего 210 часов, в том числе, – 140 часов на самостоятельную работу, из них: *СРСП* – 15 часов и *СРС* – 125 часов. Аудиторные занятия составляют 70 часов и включают в себя следующие занятия: курс лекций – 30 часов, лабораторные занятия – 15 часов, практические занятия – 15 часов и рубежный контроль – 10 часов. Студенты должны выполнить четыре расчетно-графические работы, представленные здесь, по основным разделам курса.

Целью изучения дисциплины «Электротехника и электроника» является формирование у студентов необходимых навыков по применению основных методов расчета электрических цепей, режимов работы электрических машин постоянного и переменного тока, а также расчета параметров электронных устройств, приобретение ими знаний о физических процессах, протекающих в электрических цепях, трансформаторах, электрических машинах, а также в электронных устройствах и в измерительных цепях.

Здесь представлены задания к расчетно-графическим работам по следующим темам:

- расчет линейных электрических цепей постоянного тока;
- расчет трехфазных электрических цепей;
- расчет параметров и механической характеристики трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором;
- расчет параметров силовых компонентов импульсных стабилизаторов напряжения.

Выполнение расчетно-графических работ поможет студентам овладеть методами расчета линейных электрических цепей постоянного и трехфазного синусоидального токов, ознакомиться с проблемой компенсации реактивной мощности, расчетом параметров и характеристик трехфазных асинхронных машин с короткозамкнутым ротором, а также усвоить критерии расчета и выбора силовых компонентов импульсных стабилизаторов напряжения.

Каждое задание имеет несколько вариантов схем и исходных данных. Номер варианта студент выбирает из строки, соответствующей году поступления (четный или нечетный), по последней и предпоследней цифрам номера зачетной книжки из соответствующих таблиц.

Каждое задание к расчетно-графическим работам снабжено методическими указаниями, в которых даются теоретические пояснения к методам расчета или принципу работы устройства, рекомендации по выбору тех или иных значений параметров и основные расчетные формулы.

Расчетно-графическая работа должна быть сдана на проверку в срок, указанный в силлабусе. В случае нарушения студентом срока сдачи работы, ему снижается итоговый балл за работу.

1 Расчётно-графическая работа №1. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока

Цель работы: освоить методы расчета линейных электрических цепей постоянного тока: метод единичного тока и принцип наложения.

Для одной из схем, представленных на рисунке 1.1, по данным таблиц 1.1 и 1.2 необходимо рассчитать токи в ветвях лестничной схемы, напряжения на резисторах и источниках U_1 и U_2 , КПД источников, а также проверить выполнение баланса мощностей для трех комбинаций значений ЭДС E_1 и E_2 – источников напряжения (для схем с источниками ЭДС) или токов J_1 и J_2 – источников тока (для схем с источниками тока), приведенных в таблице 1.3.

Для расчета применить принцип наложения и метод единичного тока. Результаты расчета представить в табличной форме.

Таблица 1.1 – Варианты схемы и внутренние сопротивления источников

Год поступления	Последняя цифра зачетной книжки										
	Четный	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Нечетный	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
№ схемы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
$r_{вн1} = r_{вн2}, Ом$	50000	20	40000	15	30000	17	20000	19	10000	18	

Таблица 1.2 – Варианты параметров схемы

Год поступления	Предпоследняя цифра зачетной книжки										
	Четный	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Нечетный	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
$R_1, Ом$	100	400	550	850	600	150	900	450	750	800	
$R_2, Ом$	150	250	900	1000	750	500	700	300	800	1000	
$R_3, Ом$	50	300	600	900	800	300	950	500	850	550	
$R_4, Ом$	175	500	750	800	650	450	1000	350	900	700	
$R_5, Ом$	200	375	700	750	900	200	850	400	1000	900	
$R_6, Ом$	75	450	850	600	500	250	1100	250	950	600	
$R_7, Ом$	250	475	500	650	700	100	800	550	600	750	
$R_8, Ом$	275	350	800	700	950	350	750	375	650	500	

Таблица 1.3 – Значения E_1 и E_2 , J_1 и J_2 для трех комбинаций

Комбинация значений	$E_1, В$	$E_2, В$	$J_1, А$	$J_2, А$
1	150	250	15	30
2	150	150	20	15
3	200	100	40	20

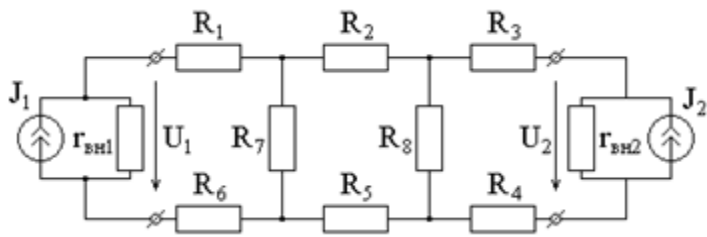


Схема 1

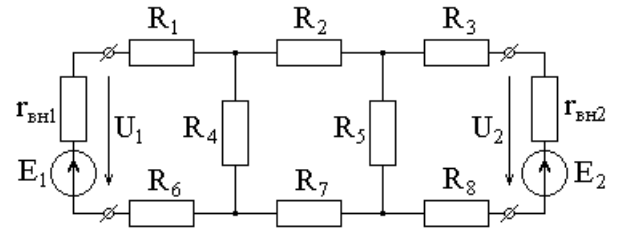


Схема 2

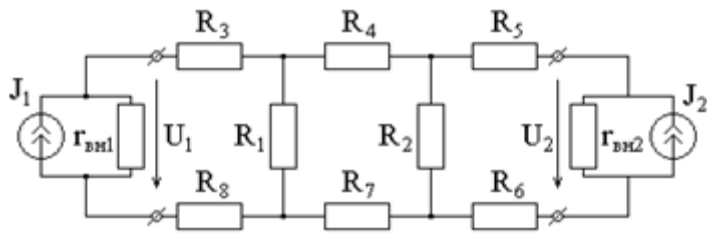


Схема 3

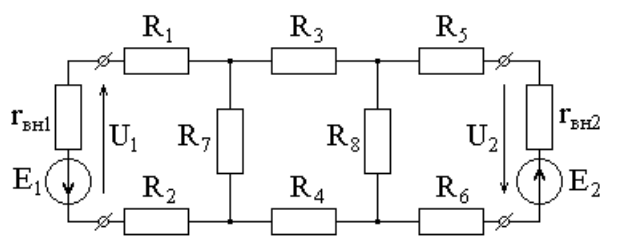


Схема 4

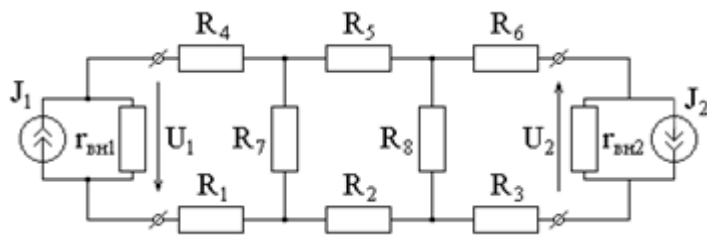


Схема 5

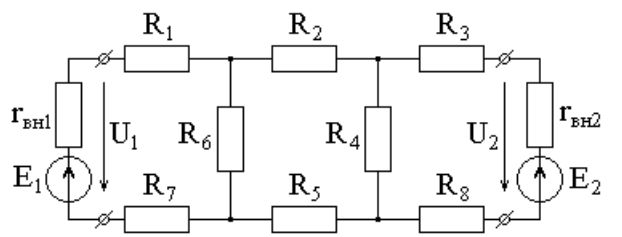


Схема 6

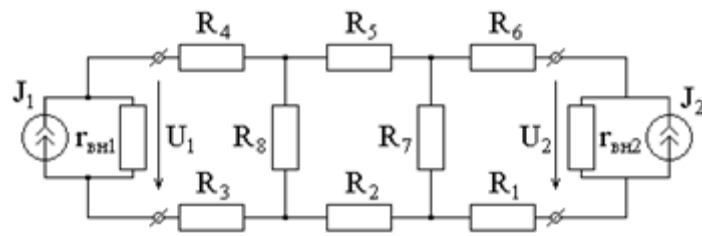


Схема 7

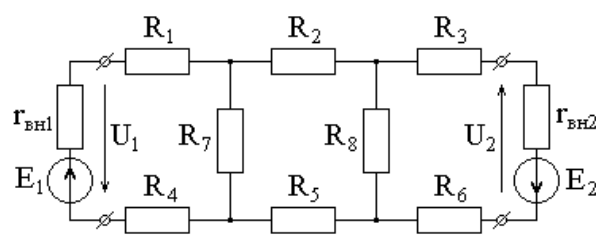


Схема 8

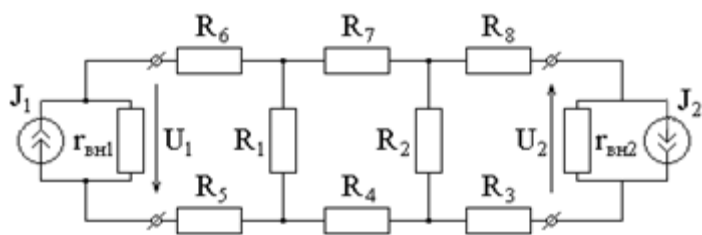


Схема 9

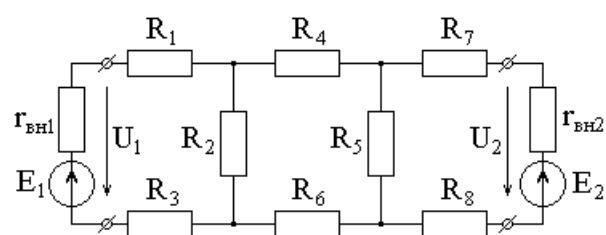


Схема 10

Рисунок 1.1 – Варианты схем к расчетно-графической работе №1

1.1 Методические указания

Принцип наложения можно применить для расчета токов в линейных электрических цепях с несколькими источниками энергии. Согласно принципу наложения, ток (напряжение) в какой-либо ветви равен алгебраической сумме частичных токов (напряжений), создаваемых каждым источником в отдельности:

$$I_k = I_k^{(1)} + I_k^{(2)} + \dots + I_k^{(k)} + \dots + I_k^{(n)} = g_{k1} E_1 + h_{k2} J_2 + \dots + g_{kk} E_k + \dots + g_{kn} E_n,$$

где $I_k^{(1)}, I_k^{(2)}, I_k^{(k)}, I_k^{(n)}$ – частичные токи от отдельных источников энергии;

g_{kk} и g_{k1}, g_{k2}, g_{kn} – входная и взаимные проводимости k -той ветви;

h_{k2} – коэффициент передачи по току в k -тую ветвь.

При расчете частичных токов (напряжений) удобно применять метод единичного тока, который еще называют методом пропорциональных величин.

Рассмотрим применение этих методов на примере расчета лестничной схемы, представленной на рисунке 1.2.

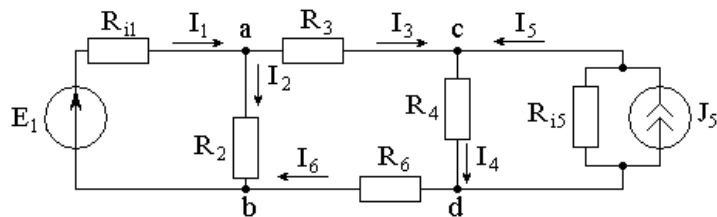


Рисунок 1.2

В расчетной схеме для расчета частичных токов оставляют только один источник, а остальные источники заменяют их внутренними сопротивлениями.

Схема для расчета частичных токов, создаваемых первым источником E_1 , приведена на рисунке 1.3.

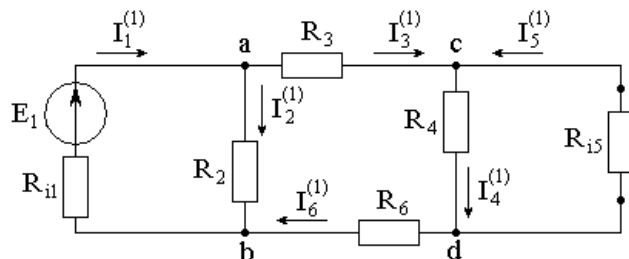


Рисунок 1.3

Применим *метод единичного тока* для расчета входной g_{11} и взаимных

$g_{21}, g_{31}, g_{41}, g_{51}, g_{61}$ проводимостей ветвей.

Примем $I_5^{(1)} = -1$ А. Затем рассчитаем одно за другим, по очереди применяя первый и второй законы Кирхгофа:

$$\begin{aligned} U_{cd}'^{(1)} &= -I_5^{(1)} \cdot R_{i5}; I_4^{(1)} = U_{cd}'^{(1)} / R_4; I_3^{(1)} = I_6^{(1)} = -I_5^{(1)} + I_4^{(1)}; \\ U_{ab}'^{(1)} &= I_3^{(1)} R_3 + U_{cd}'^{(1)} + I_6^{(1)} R_6; I_2^{(1)} = U_{ab}'^{(1)} / R_2; I_1^{(1)} = I_2^{(1)} + I_3^{(1)}; \\ E_1' &= I_1^{(1)} \cdot R_{i1} + U_{ab}'^{(1)}. \end{aligned}$$

Рассчитаем входную и взаимные проводимости ветвей схемы:

$$g_{11} = \frac{I_1^{(1)}}{E_1'}; g_{21} = \frac{I_2^{(1)}}{E_1'}; g_{31} = \frac{I_3^{(1)}}{E_1'}; g_{41} = \frac{I_4^{(1)}}{E_1'}; g_{51} = \frac{I_5^{(1)}}{E_1'}; g_{61} = \frac{I_6^{(1)}}{E_1'}.$$

Схема для расчета частичных токов, создаваемых вторым источником J_5 , приведена на рисунке 1.4.

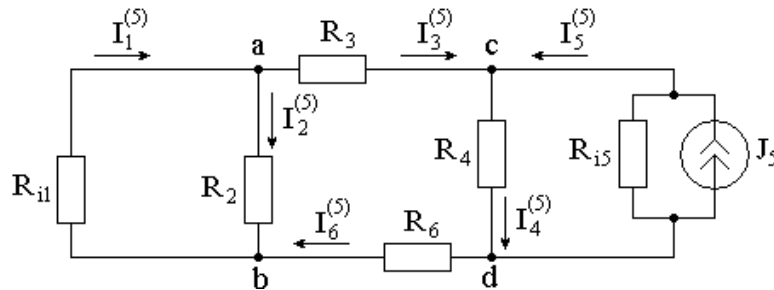


Рисунок 1.4

Применим *метод единичного тока* для расчета входного h_{55} и взаимных $h_{15}, h_{25}, h_{35}, h_{45}, h_{65}$ коэффициентов передачи ветвей по току.

Примем $I_1^{(5)} = -1$ А. Затем рассчитаем одно за другим по очереди применяя первый и второй законы Кирхгофа:

$$\begin{aligned} U_{ab}'^{(5)} &= -I_1^{(5)} \cdot R_{i1}; I_2^{(5)} = U_{ab}'^{(5)} / R_2; I_3^{(5)} = I_6^{(5)} = I_1^{(5)} - I_2^{(5)}; \\ U_{cd}'^{(5)} &= -I_3^{(5)} R_3 + U_{ab}'^{(5)} - I_6^{(5)} R_6; I_4^{(5)} = U_{cd}'^{(5)} / R_4; I_5^{(5)} = I_4^{(5)} - I_3^{(5)}; \\ J_5' &= I_5^{(5)} + U_{cd}'^{(5)} / R_{i5}. \end{aligned}$$

Рассчитаем входной и взаимные коэффициенты передачи ветвей по току:

$$h_{55} = \frac{I_5^{(5)}}{J_5'}; h_{15} = \frac{I_1^{(5)}}{J_5'}; h_{25} = \frac{I_2^{(5)}}{J_5'}; h_{35} = \frac{I_3^{(5)}}{J_5'}; h_{45} = \frac{I_4^{(5)}}{J_5'}; h_{65} = \frac{I_6^{(5)}}{J_5'}.$$

Значения токов в ветвях заданной схемы при действии любой комбинации значений обоих источников, согласно принципу наложения, рассчитывают по формулам:

$$\begin{aligned}
I_1 &= I_1^{(1)} + I_1^{(5)} = g_{11} \cdot E_1 + h_{15} \cdot J_5; & I_2 &= I_2^{(1)} + I_2^{(5)} = g_{21} \cdot E_1 + h_{25} \cdot J_5; \\
I_3 &= I_3^{(1)} + I_3^{(5)} = g_{31} \cdot E_1 + h_{35} \cdot J_5; & I_4 &= I_4^{(1)} + I_4^{(5)} = g_{41} \cdot E_1 + h_{45} \cdot J_5; \\
I_5 &= I_5^{(1)} + I_5^{(5)} = g_{51} \cdot E_1 + h_{55} \cdot J_5; & I_6 &= I_6^{(1)} + I_6^{(5)} = g_{61} \cdot E_1 + h_{65} \cdot J_5.
\end{aligned}$$

2 Расчётно-графическая работа №2. Расчет трехфазных электрических цепей

Цель работы: освоить методы расчета трехфазных электрических цепей, соединенных по схеме звезда и треугольник; приобрести навыки расчета параметров источника реактивной мощности для ее полной компенсации.

К симметричному трехфазному источнику с линейным напряжением $U_l = 418 \text{ В}$, частотой $f = 50 \text{ Гц}$ подключены симметричная нагрузка и батарея статических конденсаторов (БСК). Варианты схем (таблица 2.2) представлены на рисунках 2.1 и 2.2, где $\underline{Z}_l = R_l + jX_l$ и \underline{Z}_n – комплексные сопротивления фазы линии и нагрузки, соответственно. БСК предназначена для компенсации реактивной мощности (КРМ) нагрузки, C_k – емкость фазы конденсаторной батареи.

Для заданного варианта схемы по данным таблицы 2.1 рассчитать:

- 1) Комплексное сопротивление фазы нагрузки \underline{Z}_n .
- 2) Фазные и линейные напряжения и токи нагрузки без КРМ (БСК не подключены).
- 3) Активную, реактивную и полную мощности нагрузки без КРМ.
- 4) Реактивную мощность, емкость фазы C_{ky} БСК для обеспечения полной КРМ нагрузки, чтобы $\cos \varphi = 1$.
- 5) Фазные и линейные напряжения и токи нагрузки и источника при полной КРМ.
- 6) Мощность потерь в линии без КРМ и при полной КРМ нагрузки.
- 7) Активную, реактивную и полную мощности источника без КРМ и при полной КРМ нагрузки.
- 8) Коэффициент полезного действия (КПД) схемы электроснабжения без КРМ и при полной КРМ. Сравнить КПД, сделать выводы по работе.

Построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов электрической цепи для режима полной КРМ нагрузки.

Проверить найденные значения токов в ветвях схемы и напряжений на ее элементах экспериментально, собрав ее на виртуальном лабораторном стенде программы «Electronics workbench».

Сравнить результаты расчета и эксперимента в табличной форме.

Таблица 2.1 – Варианты параметров нагрузки и линии

Год поступления	Последняя цифра зачетной книжки									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Четный										

Нечетный	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
$P_{н.ном}, кВт$	20	15	25	50	35	15	45	25	40	10
$\cos \varphi_n$	0,80	0,60	0,70	0,65	0,75	0,55	0,85	0,90	0,50	0,45
$R_l, Ом$	0,40	0,20	0,30	0,40	0,25	0,20	0,35	0,25	0,30	0,35
$X_l, Ом$	1,00	0,50	0,75	1,00	0,60	0,50	0,85	0,60	0,75	0,85

Примечание – $P_{н.ном}$ – номинальная активная мощность и $\cos \varphi_n$ нагрузки.

Таблица 2.2 – Варианты схемы

Год поступления	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
Четный	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Нечетный	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
№ схемы	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2

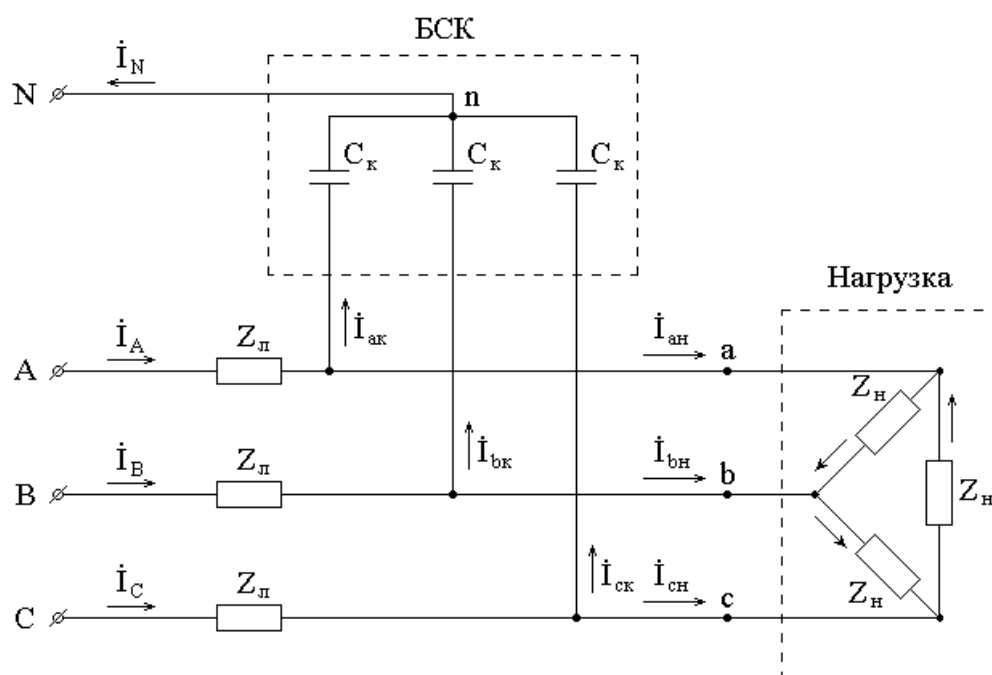


Рисунок 2.1 – Схема 1 к расчетно-графической работе №2

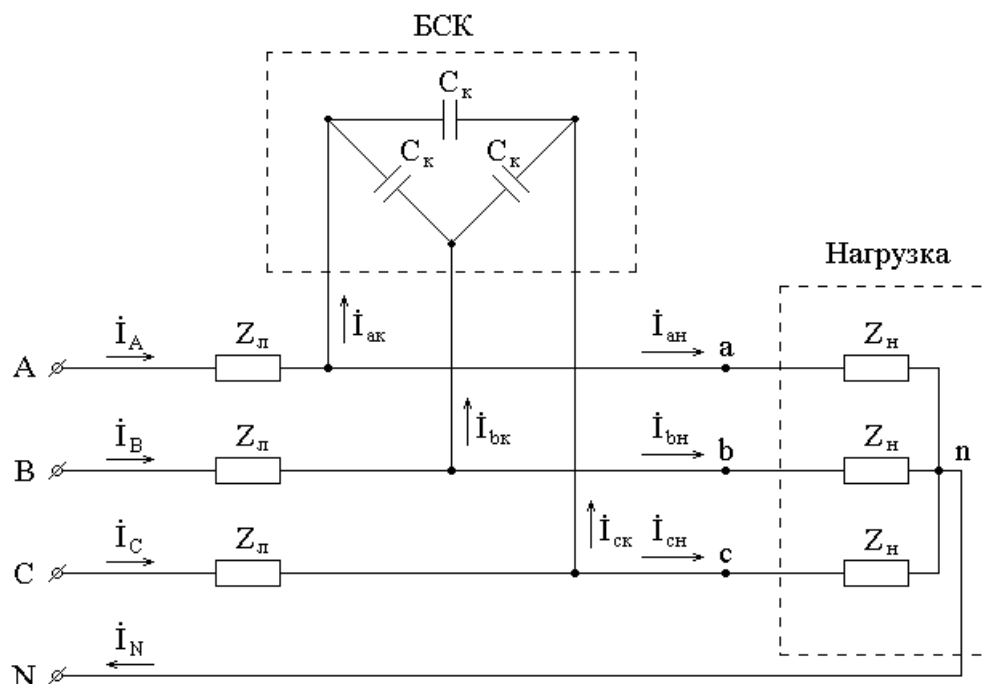


Рисунок 2.2 – Схема 2 к расчетно-графической работе №2

2.1 Методические указания

Номинальными параметрами трехфазной нагрузки являются расчетные параметры, при которых нагрузка может работать весь гарантийный срок службы и более. При рабочем линейном напряжении трехфазного источника $U_n = 418 \text{ В}$ номинальное линейное напряжение на нагрузке, с учетом падения напряжения в линии электропередачи, следует принять равным $U_{л.ном} = 380 \text{ В}$.

Расчёт номинальных полной $S_{н.ном}$ и реактивной $Q_{н.ном}$ мощностей, а также линейного тока $I_{л.ном}$ нагрузки проводят по формулам:

$$S_{н.ном} = \frac{P_{н.ном}}{\cos \varphi_n}; \quad Q_{н.ном} = \sqrt{S_{н.ном}^2 - P_{н.ном}^2}; \quad I_{л.ном} = \frac{S_{н.ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{л.ном}}.$$

Фазный ток нагрузки равен линейному току при соединении её фаз в звезду, а при соединении фаз нагрузки в треугольник в симметричном режиме фазный ток в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного.

По номинальным параметрам рассчитывают активное R_n , реактивное X_n и полное комплексное Z_n сопротивления последовательной схемы замещения фазы нагрузки:

$$R_n = \frac{P_{н.ном}}{3 \cdot I_{ф.ном}^2}; \quad X_n = \frac{Q_{н.ном}}{3 \cdot I_{ф.ном}^2}; \quad Z_n = R_n + jX_n.$$

Номинальные параметры компенсирующего устройства (КУ):

$$U_{л.ном} = U_{н.ном} = 380 В; \quad Q_{ку.ном} = -Q_{н.ном}.$$

Необходимо отметить, что нагрузка имеет индуктивный характер реактивной мощности, а компенсирующее устройство – емкостный.

По номинальным параметрам рассчитывают реактивное сопротивление $X_{ку}$ и емкость $C_{ку}$ фазы компенсирующего устройства (КУ):

$$X_{ку} = \frac{3 \cdot U_{ф.ку.ном}^2}{Q_{ку.ном}}; \quad C_{ку} = \frac{1}{\omega X_{ку}} = \frac{1}{2\pi f X_{ку}}.$$

Расчёт режима в цепи без компенсации реактивной мощности (без КРМ).

Ток в линии, например, \dot{I}_A , равен линейному току нагрузки $\dot{I}_{ан}$, который при соединении в звезду является также и фазным током нагрузки.

Расчёт симметричного режима цепи проводят для одной из фаз, обычно для фазы А. Действующие значения токов и напряжений в остальных фазах линии и нагрузки будут такими же, как и в фазе А, а их начальные фазы будут отличаться на -120° в фазе В и на $+120^\circ$ в фазе С.

Расчетная схема для фазы А приведена на рисунке 2.3.

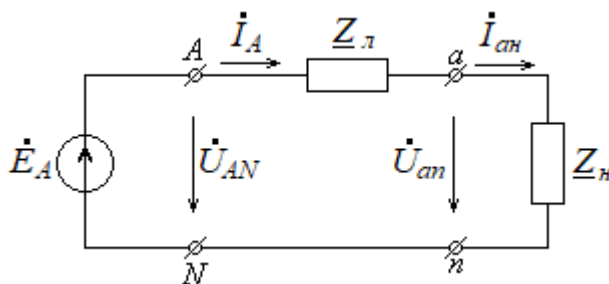


Рисунок 2.3 – Расчетная схема цепи для фазы А

В расчетной схеме цепи комплексное сопротивление $Z_н$ равно сопротивлению фазы нагрузки при соединении её фаз в звезду и сопротивлению фазы эквивалентной звезды $Z_{н.эквY} = Z_{н.\Delta} / 3$ при соединении её фаз в треугольник.

Комплексное действующее значение Э.Д.С. фазы А источника:

$$\dot{E}_A = \dot{U}_{АН} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0^\circ} = \frac{418}{\sqrt{3}} \cdot e^{j0^\circ} = 241,3 e^{j0^\circ} В.$$

Линейный ток линии \dot{I}_A , равный линейному току нагрузки $\dot{I}_{ан}$, который, в свою очередь, является фазным током нагрузки при соединении её фаз в звезду, рассчитывают по закону Ома:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{aH} = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_l + \underline{Z}_H}.$$

Комплексные действующие значения соответствующих токов в фазах В и С отличаются лишь начальными фазами:

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{bH} = \dot{I}_A e^{-j120^\circ}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_{cH} = \dot{I}_A e^{+j120^\circ}.$$

Падение напряжения на сопротивлении линии:

$$\Delta \dot{U}_{Aa} = \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_l.$$

Фазные напряжения нагрузки меньше фазной Э.Д.С. на величину падения напряжения в линии:

$$\dot{U}_{an} = \dot{E}_A - \Delta \dot{U}_{Aa}; \quad \dot{U}_{bn} = \dot{U}_{an} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_{cn} = \dot{U}_{an} \cdot e^{j120^\circ}.$$

Линейные напряжения нагрузки:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{U}_{an} - \dot{U}_{bn}.$$

Это напряжение можно найти также из векторной диаграммы:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{ab} &= \sqrt{3} \cdot \dot{U}_{an} e^{j30^\circ}; \\ \dot{U}_{bc} &= \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ}; \\ \dot{U}_{ca} &= \dot{U}_{ab} \cdot e^{+j120^\circ}. \end{aligned}$$

Активная мощность нагрузки:

$$P_H = \sqrt{3} \cdot U_l \cdot I_l \cdot \cos \varphi_\phi.$$

Мощность потерь электроэнергии в линии электропередачи:

$$\Delta P_l = 3 \cdot I_l^2 \cdot R_l.$$

КПД системы электроснабжения:

$$\eta = \frac{P_H}{P_H + \Delta P_l} \cdot 100\%.$$

Расчёт режима в цепи при полной компенсации реактивной мощности нагрузки, то есть когда КУ подключено.

Компенсация реактивной мощности нагрузки позволит уменьшить ток в линии электропередачи, что приведет к уменьшению потерь в линии. При

этом уменьшится и падение напряжения в линии, что, в свою очередь, приведёт к увеличению мощности в нагрузке и в целом к увеличению КПД системы электроснабжения. Коэффициент мощности нагрузки вместе с КУ станет равным $\cos\varphi_n = 1$.

Сначала, если фазы КУ соединены в треугольник, надо преобразовать треугольник сопротивлений фаз КУ в эквивалентную звезду: $X_{KV\Delta} = X_{KV\Delta} / 3$. Если фазы КУ соединены в звезду, то этого делать не надо.

Потенциал нейтрали эквивалентной схемы КУ, из соображений симметрии, равен нулю так же, как и потенциалы нейтралей нагрузки и генератора. Поэтому нейтрали КУ, нагрузки и генератора могут быть объединены в один узел n с потенциалом, равным нулю.

Эквивалентное сопротивление нагрузки с учетом параллельно включенного КУ:

$$\underline{Z}_{a\text{ экв.}} = \frac{\underline{Z}_n \cdot (-jX_{KV\Delta})}{\underline{Z}_n - jX_{KV\Delta}}$$

Расчетная схема цепи при компенсации реактивной мощности (КРМ) для фазы А приведена на рисунке 2.4.

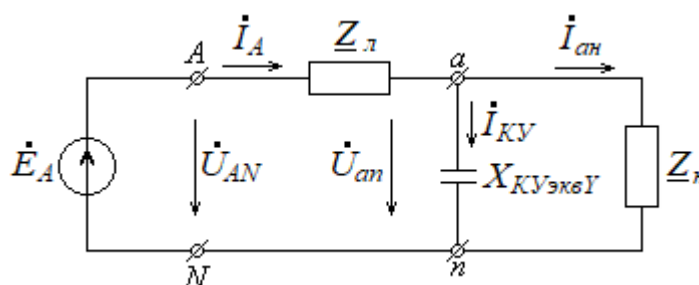


Рисунок 2.4 – Расчетная схема цепи при КРМ нагрузки для фазы А

Токи в линии электропередачи:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A}{\underline{Z}_l + \underline{Z}_{a\text{ экв.}}}; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_A \cdot e^{-j120^\circ}; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_A \cdot e^{+j120^\circ}.$$

Падение напряжения в линии:

$$\Delta \dot{U}_{Aa} = \dot{I}_A \cdot \underline{Z}_l.$$

Фазные напряжения нагрузки и потенциалы фаз нагрузки относительно потенциала нейтрали генератора φ_N , принимаемого в трехфазных цепях равным нулю:

$$\dot{\varphi}_a = \dot{U}_{an} = \dot{E}_A - \Delta \dot{U}_{Aa}; \quad \dot{\varphi}_b = \dot{U}_{bn} = \dot{\varphi}_a \cdot e^{-j120^\circ}; \quad \dot{\varphi}_c = \dot{U}_{cn} = \dot{\varphi}_a \cdot e^{+j120^\circ}.$$

Определив потенциалы фаз нагрузки, можно вернуться к исходной схеме. Если фазы КУ соединены в треугольник, то линейные напряжения нагрузки являются также и фазными напряжениями КУ:

$$\dot{U}_{ab} = \dot{\varphi}_a - \dot{\varphi}_b; \quad \dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} e^{-j120^\circ}; \quad \dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} e^{+j120^\circ}.$$

Если фазы нагрузки соединены в звезду, то линейные токи являются также и фазными токами нагрузки:

$$\dot{I}_{an} = \frac{\dot{U}_{an}}{\underline{Z}_n}; \quad \dot{I}_{bn} = \dot{I}_{an} e^{-j120^\circ}; \quad \dot{I}_{cn} = \dot{I}_{an} e^{+j120^\circ}.$$

Фазные токи КУ:

$$\dot{I}_{abKY} = \frac{\dot{U}_{ab}}{-jX_{KY}}; \quad \dot{I}_{bcKY} = \dot{I}_{abKY} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad \dot{I}_{caKY} = \dot{I}_{abKY} \cdot e^{+j120^\circ}.$$

Линейные токи КУ:

$$\dot{I}_{aKY} = \dot{I}_{abKY} - \dot{I}_{caKY}; \quad \dot{I}_{bKY} = \dot{I}_{abKY} \cdot e^{-j120^\circ}; \quad \dot{I}_{cKY} = \dot{I}_{abKY} \cdot e^{+j120^\circ}.$$

Топографическая диаграмма напряжений, совмещенная с векторной диаграммой токов, при полной компенсации реактивной мощности нагрузки цепи для фазы А приведена на рисунке 2.5. Диаграммы для фаз В и С будут иметь такой же вид, но повернуты на комплексной плоскости на -120° и $+120^\circ$, соответственно.

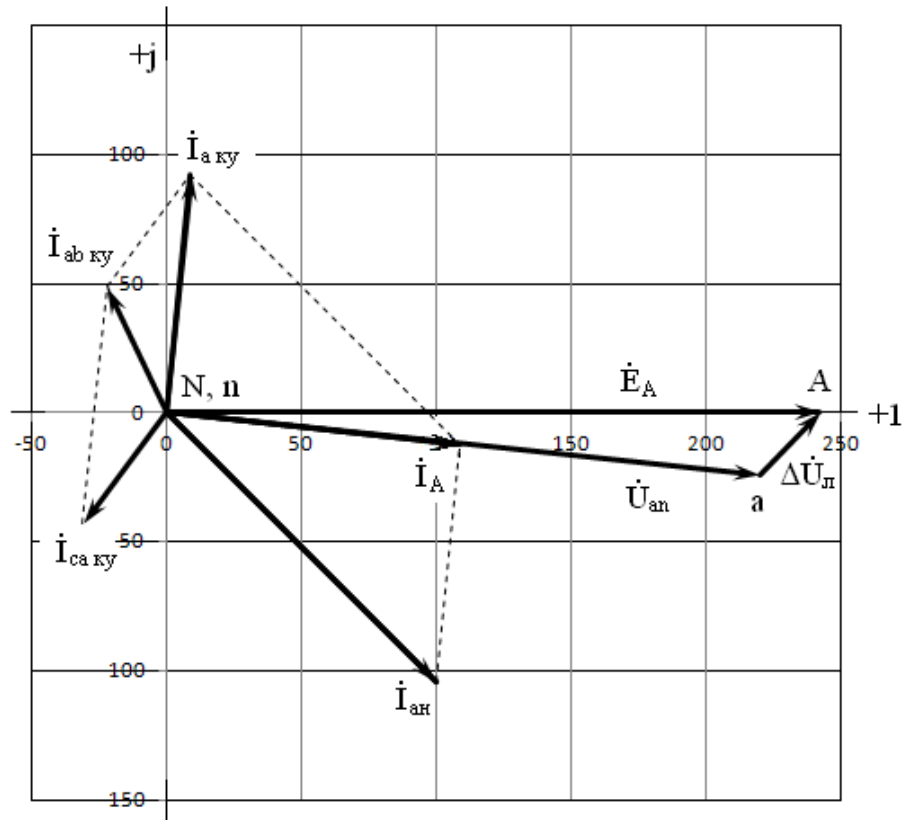


Рисунок 2.5 – Топографическая диаграмма напряжений, совмещенная с векторной диаграммой токов при полной компенсации реактивной мощности

Активная мощность нагрузки:

$$P_n = \sqrt{3}U_l \cdot I_l \cdot \cos \varphi_\phi .$$

Мощность потерь электроэнергии в линии электропередачи:

$$\Delta P_l = 3I_l^2 \cdot R_l .$$

КПД системы электроснабжения:

$$\eta = \frac{P_n}{P_n + \Delta P_l} \cdot 100\% .$$

3 Расчётно-графическая работа №3. Расчет параметров и механической характеристики трехфазного асинхронного двигателя

Цель работы: приобрести навыки расчета основных параметров асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором.

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором питается от сети с линейным напряжением $U_{л} = 380 В$ и частотой $f = 50 Гц$. Параметры двигателя заданы в таблицах 3.1-3.3: номинальная мощность $P_{ном}$; номинальная частота вращения $n_{ном}$; номинальный коэффициент полезного действия $\eta_{ном}$; коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном}$ при номинальной нагрузке; кратность максимального момента $\lambda_M = M_{max}/M_{ном}$; кратность пускового тока $\lambda_{I_{пуск}} = I_{пуск}/I_{ном}$ и номинальное фазное напряжение обмотки статора $U_{ф}$.

Требуется выполнить следующее:

1) Начертить схему подключения асинхронного двигателя к трехфазной сети.

2) Определить способ соединения обмотки статора; фазные и линейные токи двигателя; число пар полюсов обмотки статора; номинальное скольжение и номинальный вращающий момент; критическое скольжение; значение пускового тока.

3) Рассчитать значения вращающих моментов, развиваемых двигателем и соответствующих скоростей вращения ротора при следующих скольжениях: 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; $s_{кр.}$; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0.

4) По рассчитанным значениям вращающего момента и скорости вращения ротора построить график механической характеристики $n_2(M)$ асинхронного двигателя.

Таблица 3.1

Год поступления	Последняя цифра зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Нечетный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Четный	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5
$U_{ф}, В$	220	380	220	380	220	380	220	380	220	380
$P_{ном}, кВт$	10	20	25	35	15	30	40	45	50	55
$КПД \eta_{ном}, \%$	87	90	79	81	85	82	77	84	80	83

Таблица 3.2

Год поступления	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Нечетный	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Четный	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_{ном}, об/мин$	2925	1455	970	735	585	726	2910	980	1470	582

Таблица 3.3

Год поступления	Первая буква фамилии									
	АЛХ	БМЦ	ВНЧ	ГОЩ	ДПШ	ЕРЭ	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ	КФ
Нечетный	АЛХ	БМЦ	ВНЧ	ГОЩ	ДПШ	ЕРЭ	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ	КФ
Четный	ЕРЭ	АЛХ	ЖСЮ	БМЦ	ЗТЯ	ВНЧ	ИУ	ГОЩ	КФ	ДПШ

$\cos\varphi_{ном}$	0,91	0,86	0,86	0,82	0,87	0,90	0,81	0,89	0,90	0,75
$\lambda_M = M_{max}/M_{ном}$	2,5	3,0	2,0	2,0	2,0	2,3	1,9	2,3	2,5	1,8
$\lambda_{I_{пуск}} = I_{пуск}/I_{ном}$	7,5	6,5	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5	7,0	3,0

3.1 Методические указания

Способ соединения обмотки статора асинхронного двигателя определяется величинами фазного напряжения обмотки статора и линейного напряжения сети. Если фазное напряжение обмотки статора равно линейному напряжению сети, тогда фазы обмотки статора соединяются по схеме «в треугольник». В случае, если фазное напряжение обмотки статора меньше линейного напряжения сети в $\sqrt{3}$ раз, тогда фазы обмотки статора соединяют по схеме «в звезду».

Полезная механическая мощность на валу асинхронного двигателя P_2 получается за счет преобразования электрической активной мощности P_1 , потребляемой двигателем из сети, значение которой можно записать в виде:

$$P_1 = 3 \cdot U_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos\varphi ,$$

где P_1 – активная мощность, потребляемая двигателем из сети, *Вт*;

U_{ϕ} – фазное напряжение, *В*;

I_{ϕ} – фазный ток обмотки статора, *А*;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности асинхронного двигателя.

Из этого выражения определяются фазные и линейные токи двигателя.

Активную мощность, потребляемую асинхронным двигателем из сети, можно определить из выражения для коэффициента полезного действия:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{ном}}{P_1} \Rightarrow P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta} ,$$

где η – коэффициент полезного действия асинхронного двигателя в относительных единицах;

$P_2 = P_{ном}$ – полезная механическая мощность на валу двигателя, *Вт*.

При работе асинхронного двигателя частота вращения ротора меньше частоты вращения магнитного поля статора и оценивается эта разность скольжением:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} ,$$

где s – скольжение асинхронного двигателя, *о. е.*;

n_2 – частота вращения ротора, *об/мин*;

n_1 – частота вращения поля статора, определяется по формуле:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{p},$$

где f – частота питающего напряжения, Гц;

p – число пар полюсов обмотки статора асинхронного двигателя.

В результате преобразования электрической энергии в механическую на валу асинхронного двигателя возникает полезный вращающий момент:

$$M_2 = 9,55 \frac{P_2}{n_2},$$

где M_2 – полезный вращающий момент на валу двигателя, Н·м.

Вращающий момент в асинхронном двигателе зависит от скольжения и определяется по формуле Клосса выражением:

$$M = \frac{2 M_{\max}}{s / s_{\text{кр.}} + s_{\text{кр.}} / s},$$

где M_{\max} – максимальный вращающий момент, Н·м;

$s_{\text{кр.}}$ – критическое скольжение, которое соответствует максимальному вращающему моменту.

Отношение максимального вращающего момента двигателя M_{\max} к номинальному $M_{\text{ном}}$ называется кратностью максимального момента:

$$\lambda_{M_{\max}} = M_{\max} / M_{\text{ном}}.$$

Из формулы Клосса по номинальным значениям момента двигателя и скольжения определяем критическое скольжение:

$$s_{\text{кр.}} = s_{\text{ном}} \left(K_{\max} + \sqrt{K_{\max}^2 - 1} \right).$$

На основе формулы Клосса при различных значениях скольжения можно определить вращающий момент и построить механические характеристики $n_2(M)$ асинхронного двигателя.

Пример. Трехфазный асинхронный двигатель питается от сети с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220 \text{ В}$. Заданы параметры двигателя: номинальная мощность $P_{\text{ном}} = 1,5 \text{ кВт}$; частота вращения $n_{\text{ном}} = 1425 \text{ об/мин}$; коэффициент полезного действия $\eta_{\text{ном}} = 81,5 \%$; коэффициент мощности при номинальной нагрузке $\cos \varphi_{1\text{ном}} = 0,85$; кратность максимального момента $\lambda_{M_{\max}} = M_{\max} / M_{\text{ном}} = 1,8$ кратность пускового тока $\lambda_{I_{\text{пуск}}} = I_{\text{пуск}} / I_{\text{ном}} = 6,5$. Номинальное фазное напряжение обмотки статора $U_{\phi} = 220 \text{ В}$.

Требуется определить:

- 1) Способ включения обмотки статора.
- 2) Фазные и линейные токи двигателя.
- 3) Число пар полюсов.
- 4) Номинальное скольжение и номинальный момент.
- 5) Критическое скольжение.
- 6) Величину пускового тока.
- 7) Величины вращающего момента на валу двигателя при следующих значениях скольжения: 0,03; 0,05; 0,15; $s_{кр.}$; 0,25; 0,5; 0,75; 0,9; 1,0.
- 8) Построить график механической характеристики $n(M)$ асинхронного двигателя.

Решение. Обмотка статора асинхронного двигателя должна быть соединена по схеме в треугольник, так как линейное напряжение сети и фазное напряжение обмотки равны.

Активная мощность, потребляемая двигателем из сети, определяется формулой:

$$P_1 = \frac{P_2}{\eta} = \frac{1500}{0,815} \cdot 100 = 1,84 \text{ кВт}.$$

Ток в фазе обмотки статора асинхронного двигателя:

$$I_\phi = \frac{P_1}{3 U_\phi \cos \varphi_1} = \frac{1840}{3 \cdot 220 \cdot 0,85} = 3,28 \text{ А}.$$

Линейный ток, потребляемый двигателем из сети, при соединении обмотки в треугольник определяется соотношением:

$$I_\lambda = \sqrt{3} I_\phi = \sqrt{3} \cdot 3,28 = 5,68 \text{ А}.$$

При заданной частоте вращения двигателя 1425 об/мин частота вращения магнитного поля составляет 1500 об/мин, а число пар полюсов определяется формулой:

$$p = \frac{60 \cdot f}{n_1} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Номинальное скольжение двигателя:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0,05.$$

Полезный момент на валу двигателя при номинальной нагрузке определяется выражением:

$$M_{ном} = 9,55 \frac{P_{2ном}}{n_{2ном}} = 9,55 \frac{1500}{1425} = 10,05 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критическое скольжение определяем из формулы Клосса для номинального режима работы:

$$s_{кр.} = s_{ном} \left(K_{max} + \sqrt{K_{max}^2 - 1} \right) = 0,05 \left(1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1} \right) = 0,165 .$$

Определяем максимальный момент при заданной кратности:

$$M_{max} = K_{max} M_{ном} = 1,8 \cdot 10,05 = 18,1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вращающий момент асинхронного двигателя при скольжении $s = 0,03$ определяется на основании формулы Клосса:

$$M = \frac{2 M_{max}}{s / s_{кр.} + s_{кр.} / s} = \frac{2 \cdot 18,1}{0,03 / 0,165 + 0,165 / 0,03} = 6,37 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

а частота вращения ротора при этом значении скольжения:

$$n_2 = n_1 (1 - s) = 1500 (1 - 0,03) = 1455 \text{ об/мин}.$$

Вращающие моменты и обороты двигателя для других заданных скольжений определяются аналогичным образом, а результаты расчета сведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Вращающий момент и частота вращения двигателя

s	0,03	0,05	0,15	0,165	0,25	0,50	0,75	0,90	1,00
$n_2, \text{об} / \text{мин}$	1455	1425	1275	1252	1125	750	375	150	0
$M, \text{Н} \cdot \text{м}$	6,37	10,05	17,32	18,10	16,64	10,77	7,60	6,42	5,81

По результатам, представленным в таблице 3.4, построим график механической характеристики асинхронного двигателя $n_2 = f(M)$ (рисунок 3.1).

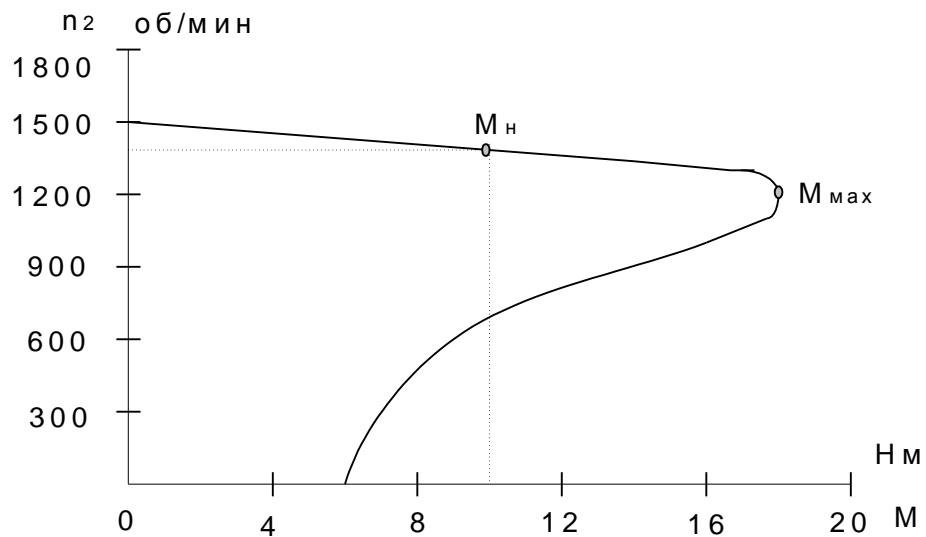


Рисунок 3.1 – Механическая характеристика асинхронного двигателя

Линейный и фазный токи при пуске двигателя определяем из заданного соотношения этих токов к номинальному:

$$I_{л.пуск} = 6,5 I_n = 6,5 \cdot 5,68 = 36,92 \text{ A}; \quad I_{ф.пуск} = 6,5 I_{ф} = 6,5 \cdot 3,28 = 21,32 \text{ A} .$$

Вывод. При соединении обмотки статора асинхронного двигателя по схеме в треугольник при номинальном токе 3,28 А в режиме пуска линейный ток возрастает до 36,92 А, а фазный ток – до 21,32 А.

4 Расчётно-графическая работа №4. Расчет параметров силовых элементов импульсных стабилизаторов напряжения

Цель работы: приобрести навыки расчета и выбора параметров силовых элементов однотактных импульсных стабилизаторов напряжения.

Варианты исходных данных для расчета параметров силовых элементов импульсных стабилизаторов напряжения, а также микросхемы контроллера приведены в таблице 4.1, в которой приведены минимальное и максимальное значения диапазона изменения входного постоянного напряжения $U_{вх.min} / U_{вх.max}$, стабилизированное напряжение на выходе $U_{вых.}$, номинальный ток нагрузки $I_{ном}$ и рабочая частота преобразования $f_{пр.}$ импульсного стабилизатора.

Для всех вариантов принять максимальное значение амплитуды пульсаций выходного напряжения $U_{вых.м} = 22 \text{ мВ}$ и ограничение выброса выходного напряжения при сбросе нагрузки на уровне $\Delta U_{выбр.} = 0,05 U_{вых.}$. Температуру

окружающей среды принять равной $T = 25^{\circ}\text{C}$.

Для схемы стабилизатора своего варианта рассчитать:

1) Минимальное и максимальное значения коэффициента заполнения импульсов γ_{\min} и γ_{\max} (его еще называют коэффициентом скважности импульсов).

2) Критическое значение индуктивности дросселя $L_{кр.}$ и выбрать дроссель.

3) Ёмкость конденсатора фильтра C и выбрать конденсатор.

4) Амплитуду пульсаций тока в дросселе ΔI_L и максимальный ток коммутируемый ключевым транзистором $I_{K \max}$.

5) Максимальное напряжение на закрытом ключевым транзисторе $U_{KЭ \max}$ и выбрать транзистор.

6) Максимальные прямой ток $I_{VD \text{ пр. max}}$ и обратное напряжение $U_{VD \text{ обр. max}}$ высокочастотного диода Шоттки и выбрать диод.

7) Мощности, рассеиваемые силовыми компонентами схемы, а также КПД стабилизатора.

Нарисовать блок-схему используемой микросхемы контроллера и привести краткое описание и назначение её основных блоков.

Нарисовать типовую принципиальную электрическую схему заданного типа стабилизатора напряжения и временные диаграммы напряжений и тока, поясняющие его работу.

Таблица 4.1 – Варианты типа и номинальных параметров стабилизатора

Год поступления	Последняя цифра зачетной книжки									
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Четный	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Нечетный	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4
Тип стабилизатора	Понижающий	Повышающий	Инвертирующий	Понижающий	Повышающий	Инвертирующий	Понижающий	Повышающий	Понижающий	Понижающий
Базовая микросхема	1155EY1 (LAS6380)	1156EY1 (μ A78S40)	1156EY1 (μ A78S40)	LAS6350	LAS6350	1156EY5 (МС34063А)	1114EY4 (TL494)	1156EY5 (МС34063А)	1156EY5 (МС34063А)	1155EY2 (L296)
Диапазон, В $U_{\text{ex.min}} / U_{\text{ex.max}}$	25/35	7/15	10/20	23/32	5/15	4/10	21/35	8/17	15/25	20/35
$U_{\text{вых.}}, \text{В}$	15	25	-15	14	25	-12	9	28	5	15
$I_{\text{ном}}, \text{А}$	2	1,5	1,3	1,2	1,4	0,9	2,5	1,0	3,5	1,8

$f_{np}, \text{кГц}$	55	75	57	67	91	72	105	77	87	155
----------------------	----	----	----	----	----	----	-----	----	----	-----

4.1 Методические указания

Импульсные стабилизаторы напряжения делятся на три основных типа, в зависимости от схемы соединения элементов силовой части. На рисунке 4.1 представлены структурные схемы трех типов импульсных стабилизаторов напряжения, а именно: понижающего, повышающего и инвертирующего.

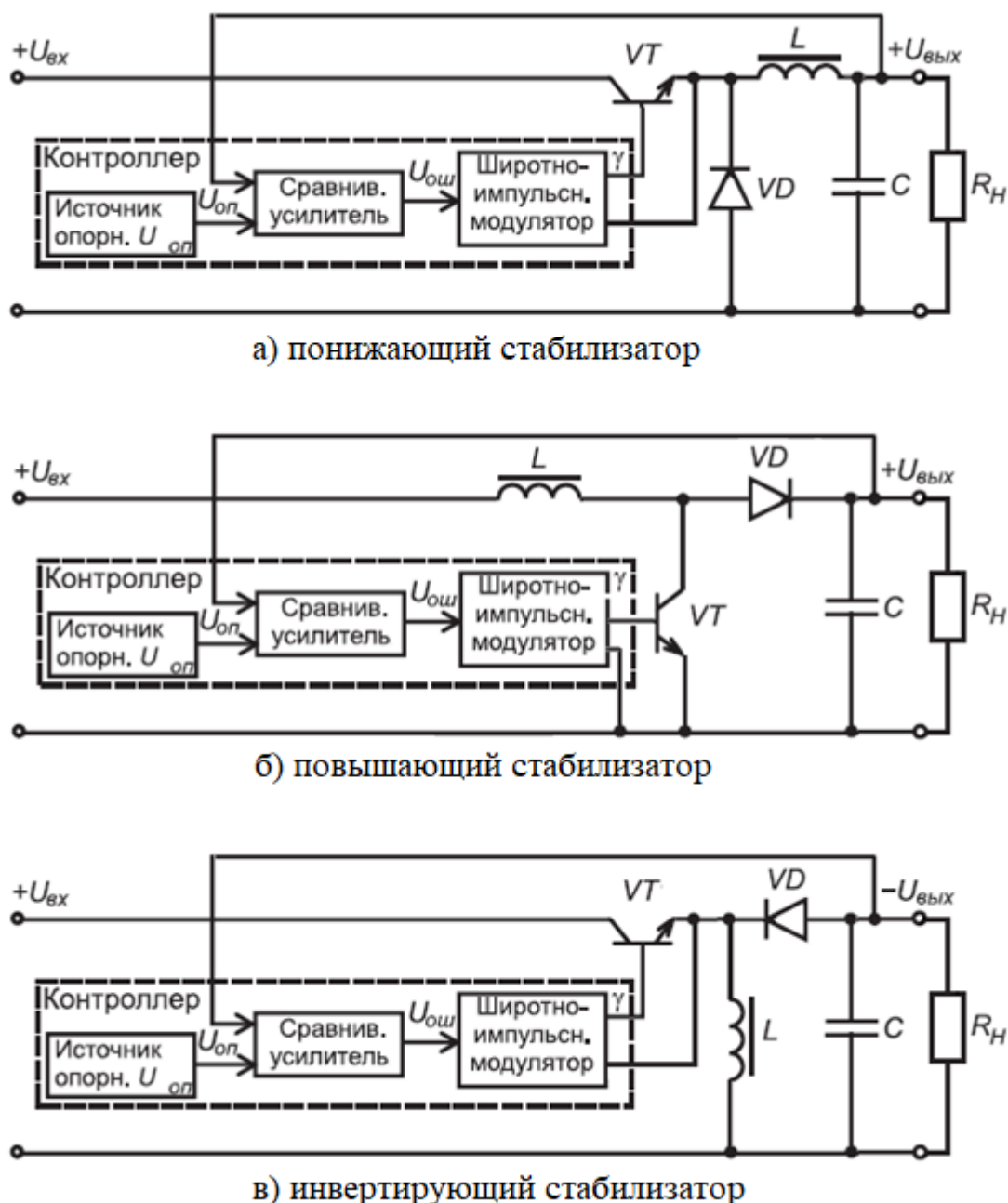


Рисунок 4.1 – Структурные схемы импульсных стабилизаторов

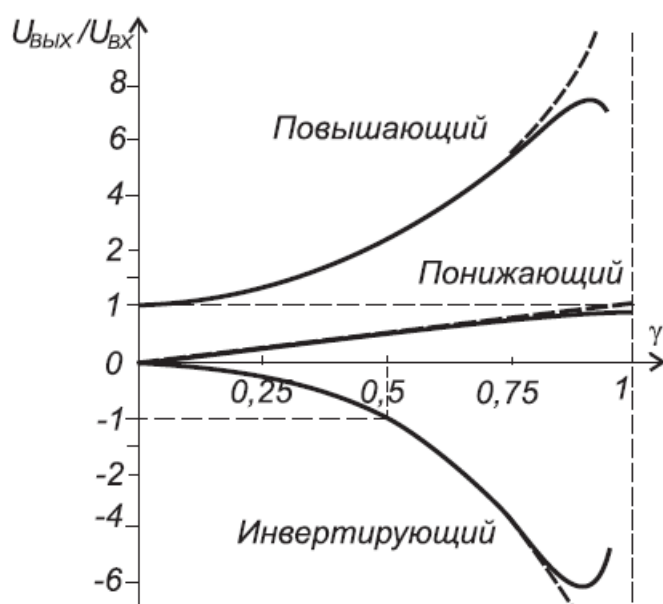
Силовая часть импульсного стабилизатора состоит из регулирующего

элемента – транзистора VT , работающего в ключевом режиме, диода VD , накопителя энергии в магнитном поле – катушки индуктивности с сердечником (дросселя) L и сглаживающего фильтра – конденсатора C . Транзисторным ключом управляет контроллер в зависимости от сигнала обратной связи, поступающего в контроллер с выхода стабилизатора напряжения. Контроллер представлен в виде структурной блок-схемы, содержащей стабилизированный источник опорного напряжения (ИОН), сравнивающий усилитель, вырабатывающий сигнал ошибки $U_{ош.}$ и широтно-импульсный модулятор (ШИМ). ШИМ формирует управляющие импульсы высокой частоты, так называемой частоты преобразования $f_{np.}$, для транзистора VT (управляемый ключ) с определенным коэффициентом заполнения $\gamma = t_u/T$, где t_u – время открытого (включенного) состояния транзисторного ключа, t_n – время паузы, т.е. закрытого (выключенного) состояния транзисторного ключа и $T = t_u + t_n$ – период импульсов, $f_{np.} = 1/T$.

Наибольшее значение коэффициента заполнения γ не должно превышать величину 0,9 – 0,95, чтобы не вызывать значительного увеличения максимального тока диода VD , транзистора VT и зарядного тока конденсатора фильтра C .

Стабилизация выходного напряжения обеспечивается с помощью отрицательной обратной связи. Например, при увеличении выходного напряжения выше заданного значения сигнал ошибки $U_{ош.}$ также увеличивается, что приводит к уменьшению t_u , т.е. к уменьшению продолжительности открытого состояния транзисторного ключа, что в свою очередь приводит к уменьшению выходного напряжения, т.е. к возвращению его к заданному значению.

Регулировочные характеристики импульсных стабилизаторов напряжения и соответствующие расчетные формулы для выходного напряжения представлены на рисунке 4.2.



Выходное напряжение стабилизатора:

повышающего $- U_{вых} = \frac{U_{вх}}{1 - \gamma}$;

понижающего $- U_{вых} = \gamma \cdot U_{вх}$;

инвертирующего $- U_{вых} = - \frac{\gamma \cdot U_{вх}}{1 - \gamma}$

Рисунок 4.2 – Регулировочные характеристики импульсных стабилизаторов

Необходимо отметить, что инвертирующий стабилизатор может быть как повышающим при коэффициенте $\gamma > 0,5$, так и понижающим при $\gamma < 0,5$.

Расчетные формулы параметров стабилизатора приведены в таблице 4.2. Индуктивность дросселя L должна быть больше критического значения $L_{кр.}$, которое определяется условием непрерывности тока в нем.

Для нормальных условий работы импульсных стабилизаторов *рекомендуются* следующие соотношения между входным и выходным напряжениями:

- для повышающего стабилизатора $U_{вх.маx} \leq (0,8 - 0,9)U_{вых.}$;
- для понижающего стабилизатора $U_{вх.миn} \geq 0,8U_{вых.}$;
- для инвертирующего стабилизатора $0,2U_{вх.миn} \leq |U_{вых.}| \leq 5U_{вх.маx}$.

Для всех типов стабилизаторов *не рекомендуется десятикратное и более* повышение или понижение напряжения.

Таблица 4.2

№ п./п.	Расчётный параметр	Тип импульсного стабилизатора напряжения		
		Понижающий	Повышающий	Инвертирующий
1	γ	$U_{вых.}/U_{вх.}$	$(U_{вых.} - U_{вх.})/U_{вых.}$	$U_{вых.}/(U_{вх.} + U_{вых.})$
2	$\gamma_{маx}$	$U_{вых.}/U_{вх.миn}$	$(U_{вых.} - U_{вх.миn})/U_{вых.}$	$U_{вых.}/(U_{вх.миn} + U_{вых.})$
3	$\gamma_{миn}$	$U_{вых.}/U_{вх.маx}$	$(U_{вых.} - U_{вх.маx})/U_{вых.}$	$U_{вых.}/(U_{вх.маx} + U_{вых.})$
4	$L > L_{кр.}$	$\frac{U_{вых.} \cdot (1 - \gamma_{миn})}{2 f_{нр.} \cdot I_{н.миn}}$	$\frac{U_{вых.} \cdot \gamma_{маx} (1 - \gamma_{маx})^2}{2 f_{нр.} \cdot I_{н.миn}}$	$\frac{U_{вых.} \cdot (1 - \gamma_{миn})^2}{2 f_{нр.} \cdot I_{н.миn}}$
5	C_H^I	$\frac{U_{вых.} \cdot (1 - \gamma_{миn})}{16 f_{нр.}^2 \cdot L \cdot U_{вых.т}}$	$\frac{U_{вых.} \cdot \gamma_{маx} \cdot I_{н.маx}}{2 f_{нр.} \cdot U_{вых.т}}$	
6	C_H^{II}	$\frac{L \cdot (I_{н.маx} - I_{н.миn})^2}{2 \cdot \Delta U_{выбр.} \cdot U_{вых.}}$		
7	ΔI_L	$\frac{U_{вых.} \cdot (1 - \gamma_{миn})}{L \cdot f_{нр.}}$	$\frac{U_{вых.} \cdot \gamma_{миn} \cdot (1 - \gamma_{миn})}{L \cdot f_{нр.}}$	
8	$I_{Kмаx}$	$I_{н.маx} + \frac{\Delta I_L}{2}$	$\frac{I_{н.маx}}{(1 - \gamma_{маx})} + \frac{\Delta I_L}{2}$	
9	$U_{КЭмаx}$	$U_{вх.маx} = U_{вых.}/\gamma_{миn}$	$U_{вых.}$	$U_{вых.}/\gamma_{миn}$
10	$P_{VTмаx}$	$I_{н.маx} U_{КЭнас.} \gamma_{маx} + 0,5 U_{КЭмаx} I_{Kмаx} (t_u + t_n) f_{нр.} + \frac{k_{нас.} \gamma_{маx} U_{БЭнас.} I_{Kмаx}}{h_{21Эмиn}}$	$\frac{I_{н.маx} U_{КЭнас.} \gamma_{маx}}{1 - \gamma_{маx}} + \frac{U_{КЭмаx} I_{Kмаx} (t_u + t_n) f_{нр.}}{2} + \frac{k_{нас.} \gamma_{маx} U_{БЭнас.} I_{Kмаx}}{h_{21Эмиn}}$	

11	$I_{VD \text{ пр.мах}}$	$I_{н.мах} + \frac{\Delta I_L}{2}$	$\frac{I_{н.мах}}{(1 - \gamma_{мах})} + \frac{\Delta I_L}{2}$	
12	$U_{VDобр.мах}$	$U_{вх.мах} = U_{вых.} / \gamma_{мин}$	$U_{вых.}$	$U_{вых.} / \gamma_{мин}$
13	$P_{VD \text{ мах}}$	$U_{нр.} I_{н.мах} (1 - \gamma_{мин})$	$U_{нр.} I_{н.мах} (1 - \gamma_{мин}) / (1 - \gamma_{мах})$	
14	η	$\frac{U_{н.} I_{н.мах}}{U_{н.} I_{н.мах} + P_{VT \text{ мах}} + P_{VD \text{ мах}} + P_{\delta p.}}$		

Примечание – Активное сопротивление дросселя можно принять примерно равным $R_{\delta p} = 150 \cdot L_{\delta p}$. Действующее значение тока дросселя примерно равно значению тока коллектора ключевого транзистора, поэтому мощность дросселя примерно равна $P_{\delta p.} = I_{K \text{ мах}}^2 R_{\delta p.}$ Емкость конденсатора фильтра выбирают по наибольшему из двух значений C_H^I и C_H^{II} , рассчитанных из условия ограничения амплитуды пульсаций выходного напряжения $U_{вых.м}$ и из условия ограничения выброса выходного напряжения при сбросе нагрузки $\Delta U_{выбр.}$, соответственно.

Приложение А

Требования к выполнению и оформлению расчетно-графических работ

Расчетно-графическая работа может быть выполнена рукописным способом или с помощью компьютерного набора, шрифтами группы Times New Roman кегль 14. Текст пишется на одной стороне листа белой бумаги формата А4. По всем четырем сторонам листа оставляются настраиваемые поля: левое - 25 мм, правое - 18 мм, верхнее - 20 мм, нижнее - 25 мм.

Все листы должны иметь сквозную нумерацию, начиная с титульного листа. Номер пишется снизу в середине листа без точки.

Графические построения и некоторые расчеты удобно выполнять на компьютере в приложениях *Mathcad* или *Excel*. Все графические построения должны быть выполнены с соблюдением выбранных масштабов. Буквенные обозначения и размерность физических величин, а также графические изображения элементов схемы должны отвечать требованиям соответствующих *ГОСТов*.

На титульном листе следует указать наименования министерства, вуза, кафедры, дисциплины, название и тему работы, специальность, фамилию и инициалы, шифр группы и номер зачетной книжки студента, выполнившего работу, а также фамилию и инициалы преподавателя, проверившего ее.

Образец титульного листа приведен в приложении Б.

Расчетно-графическая работа должна начинаться с задания, которое полностью переписывается, включая необходимые рисунки и исходные данные, согласно варианту задания.

Расчет должен сопровождаться пояснениями. Все уравнения, их преобразование и расчетные формулы следует записывать в общем виде и только в последнюю очередь подставлять числовые значения. Это позволит легко контролировать выполнение необходимых преобразований и правильность расчетных формул.

Результаты вычислений следует округлять до трех значащих цифр, при этом погрешность вычислений будет в пределах 1%. Операции вычисления рекомендуется проводить с числами, размерности которых приведены к основным единицам системы СИ (*B, A, Ом, Вт, вар, ВА* и т.п.).

Приложение Б

Образец титульного листа

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра Электротехники

Расчётно-графическая работа № ____

По дисциплине «Электротехника и электроника»

На тему _____

Специальность 5В071700 – Теплоэнергетика

Выполнил _____ Группа _____
(Ф.И.О. студента)

Проверил _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О. преподавателя)

(оценка)

(подпись)

«_____» _____ 20__ г.

Алматы 20__ г.

Список литературы

Основная

- 1 Немцов М. В. Электротехника и электроника: Учебник. – 3-е изд., стер. – М.: Академия, 2010. – 432 с.
- 2 Данилов И. А. Общая электротехника: Учебное пособие для учащихся вузов и техникумов, бакалавров, специалистов / И.А. Данилов. – М.: Юрайт, 2010. – 673 с.: ил.
- 3 Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для бакалавров / Л. А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2013. – 701 с.

Дополнительная

- 4 Рекус Г. Г., Белоусов А. И. Сборник задач по электротехнике и основам электроники: Учеб. пособие для неэлектротехн. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1991. – 416 с.: ил.
- 5 Гейтенко Е. М. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет. Учебное пособие. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 448 с.
- 6 Прянишников В. А. Электроника: Полный курс лекций. – 3-е изд., испр. и доп. – СПб.: Учитель и ученик: КОРОНА принт, 2003. – 416 с., ил.
- 7 Микросхемы для импульсных источников питания и их применение. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский дом «Додека-XXI», 2001. – 608 с.
- 8 Баймаганов А. С. Электротехника и электроника. Конспект лекций для студентов всех форм обучения специальности 050717 – Теплоэнергетика. – Алматы: АИЭС, 2008. – 85 с.
- 9 Электротехника и электроника: Учебное пособие / Г. М. Светашев, А. С. Баймаганов. – Алматы: АУЭС, 2010. – 106 с.
- 10 Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench. В 2-х т. / Под ред. Д. И. Панфилова. – М.: ДОДЭКА, 1999. – т. 1. – Электротехника. – 304 с.
- 11 Электротехника и электроника в экспериментах и упражнениях. Практикум на Electronics Workbench. В 2-х т. / Под ред. Д. И. Панфилова. – М.: ДОДЭКА, 2000. – т. 2. – Электроника. – 288 с.

Содержание

Введение.....	3
1 Расчётно-графическая работа №1. Расчет линейных электрических цепей постоянного тока	4
1.1 Методические указания	7
2 Расчётно-графическая работа №2. Расчет трехфазных электрических цепей.9	
2.1 Методические указания	11
3 Расчётно-графическая работа №3. Расчет параметров и механической характеристики трехфазного асинхронного двигателя.....	16
3.1 Методические указания	18
4 Расчётно-графическая работа №4. Расчет параметров силовых элементов импульсных стабилизаторов напряжения	22
4.1 Методические указания	24
Приложение А Требования к выполнению и оформлению расчетно- графических работ.....	28
Приложение Б Образец титульного листа	29
Список литературы	30

Алиаскар Саинович Баймаганов

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания и задания к расчетно-графическим работам № 1-4
для студентов специальности бакалавриата 5В071700 – Теплоэнергетика

Редактор Л. Т. Сластихина

Специалист по стандартизации Г. И. Мухаметсариева

Подписано в печать « ____ » _____ 2019 г.

Тираж 50 экз.

Объем 1,8 уч. изд. л.

Формат 60×84 1/16

Бумага типографская №1

Заказ ____ Цена 900 тенге

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013 Алматы, ул. Байтурсынова, 126/1