

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)**

Кафедра электротехники и авиационного электрооборудования
Ю.П. Артеменко, Е.Ж. Сапожникова

**ОСНОВЫ
ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ
И ЭЛЕКТРОНИКИ**

ПОСОБИЕ
по выполнению контрольных домашних заданий

*для студентов II курса
направления 162300
дневного обучения*

Москва - 2012

ББК 6П2.1
А86

Рецензент д-р техн. наук, проф. С.А. Решетов

Артеменко Ю.П., Сапожникова Е.Ж.

А86 Основы электротехники и электроники: пособие по выполнению контрольных домашних заданий. – М.: МГТУ ГА, 2012. – 24 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Основы электротехники и электроники» по Учебному плану для студентов II курса направления 162300 дневного обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 16.10.12 г. и методического совета 30.10.12 г.

Редактор И.В. Вилкова

	Подписано в печать 26.12.12 г.	
Печать офсетная	Формат 60x84/16	1,17 уч.-изд. л.
1,4 усл.печ.л.	Заказ № 1559/	Тираж 100 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993 Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20
Редакционно-издательский отдел
125493 Москва, ул. Пулковская, д.6а

© Московский государственный
технический университет ГА, 2012

1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ

1.1. Цель контрольных домашних заданий

Контрольные домашние задания (КДЗ) по дисциплине «Основы электротехники и электроники» имеют целью закрепление знаний студентов по следующим разделам учебной дисциплины: цепи постоянного тока и цепи однофазного синусоидального тока (КДЗ 1); авиационные электрические машины (КДЗ 2). В ходе самостоятельного выполнения КДЗ студенты приобретают практические навыки анализа и расчета электрических цепей постоянного и переменного синусоидального тока, а также расчета характеристик авиационных генераторов и электродвигателей.

1.2. Требования к оформлению КДЗ

КДЗ выполняются и оформляются в обычной тетради или на листах стандартного формата А4. В любом случае КДЗ 1 и КДЗ 2 оформляются отдельно.

Электрические схемы, графики выполняются с соблюдением требований ЕСКД и использованием чертежных инструментов (не от руки), допускается применение компьютерной графики. В случае использования при расчетах компьютерных средств соответствующие распечатки должны быть выполнены также на стандартных листах и вложены в работу.

Условия задачи необходимо приводить полностью в том виде, как они сформулированы в задании, с учетом особенностей своего варианта, в решение включать необходимый минимум промежуточных расчетов. Окончательный результат расчета привести с указанием единицы измерения соответствующей величины.

Работа должна быть выполнена собственноручно, датирована и подписана студентом. Выполненная работа представляется на кафедру преподавателю для проверки. Все замечания, отмеченные преподавателем, устраняются студентом в установленные сроки, после чего он защищает свою работу.

Студенты, не выполнившие КДЗ в назначенный срок, к экзамену по «Основам электротехники и электроники» не допускаются.

1.3. Указания к выбору варианта

Вариант задания выбирается студентом из соответствующих каждому заданию таблиц по двум последним цифрам номера зачетной книжки (шифра): электрическая схема - по предпоследней цифре номера; численные значения параметров элементов цепи – по последней цифре номера.

1.4. Литература

1. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. - М.: Высшая школа, 2005.
2. Бессонов Л.А. Сборник задач по теоретическим основам электротехники. - М.: Высшая школа, 2000.

2. КОНТРОЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ 1

Задание 1.1. Расчет цепи постоянного тока.

К источнику электрической энергии постоянного тока, ЭДС которого $E = 28 \text{ В}$, а внутренне сопротивление $R_{\text{вн}} = 0,5 \text{ Ом}$, подключается цепь.

В соответствии с вариантом по табл. 1.1.1 определяются схема цепи (рис.1.1.1 или рис. 1.1.2) и точки подключения источника. Значения сопротивлений, входящих в заданную цепь, выбираются по табл. 1.1.2.

В Подключении 1 рассчитать ток через источник и токи в каждом из сопротивлений цепи, а также мощность, потребляемую всей цепью.

В Подключении 2 рассчитать только ток через источник.

Таблица 1.1.1

Выбор электрической схемы

Предпослед. цифра шифра	Схема	Подключение 1		Подключение 2	
		относит. точек	положение ключей	относит. точек	положение ключей
0	Рис. 1.1	1 – 6		1 – 3	
1	Рис. 1.2	1 – 2	$K_1 K_2$	1 – 2	$\overline{K}_1 K_2$
2	Рис. 1.1	2 – 6		1 – 4	
3	Рис. 1.2	1 – 3	$K_1 K_2$	1 – 3	$\overline{K}_1 K_2$
4	Рис. 1.1	3 – 6		2 – 4	
5	Рис. 1.2	1 – 4	$K_1 K_2$	1 – 4	$\overline{K}_1 K_2$
6	Рис. 1.1	4 – 6		2 – 5	
7	Рис. 1.2	1 – 4	$K_1 \overline{K}_2$	2 – 3	$\overline{K}_1 K_2$
8	Рис. 1.1	5 – 6		3 – 5	
9	Рис. 1.2	1 – 2	$K_1 \overline{K}_2$	2 – 4	$\overline{K}_1 K_2$

Условное обозначение: K – соответствует разомкнутому положению ключа;
 \overline{K} – замкнутому.

Таблица 1.1.2

Параметры элементов цепи

Последняя цифра шифра	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	R_5 , Ом	R_6 , Ом	R_7 , Ом	R_8 , Ом	R_9 , Ом
1	7	4	2	4	9	9	10	9	10
2	5	3	6	2	5	10	5	3	6
3	4	10	3	7	6	3	1	10	5
4	1	9	3	10	6	6	1	6	1
5	9	6	9	5	9	8	6	4	9
6	7	6	3	6	5	3	9	10	6
7	4	7	4	7	7	3	2	4	8
8	6	9	9	6	5	8	3	6	5
9	3	10	2	5	1	8	10	2	1
0	2	2	6	9	7	7	9	9	8

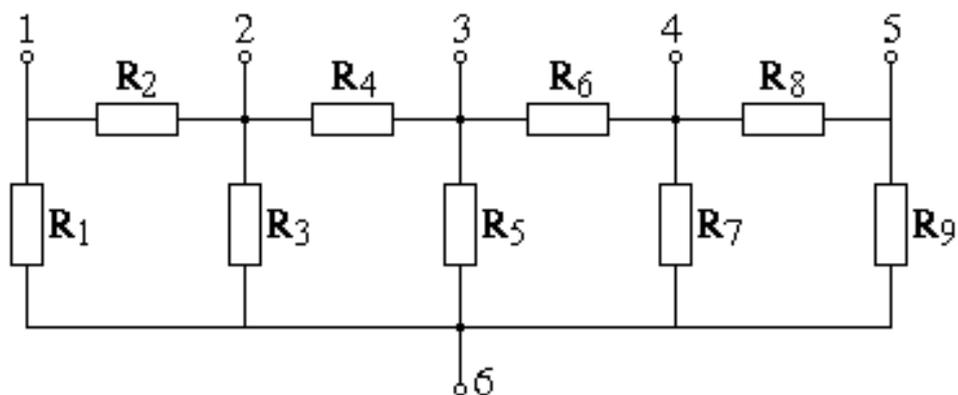


Рис. 1.1.1

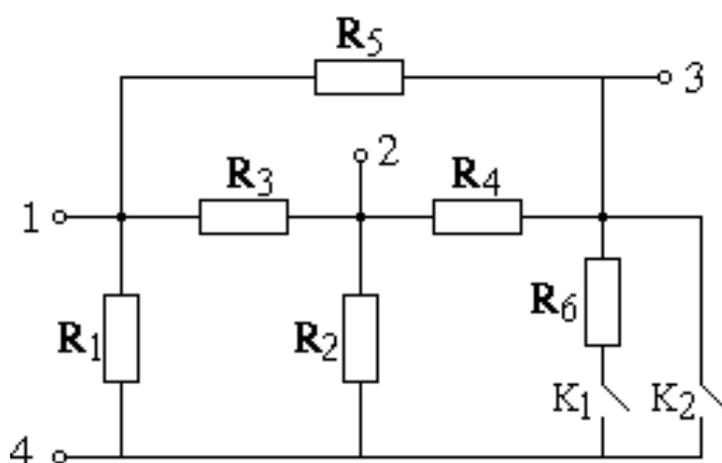


Рис. 1.1.2

Указания:

Перед началом решения изобразите схему с подключенным источником в том виде, который соответствует именно вашему варианту, исключив из нее соответственно «лишние» элементы (зажимы, ключи).

Пользуйтесь правилами эквивалентных преобразований последовательных и параллельных соединений сопротивлений, а при необходимости - преобразований «звезды» в «треугольник» или «треугольника» в «звезду».

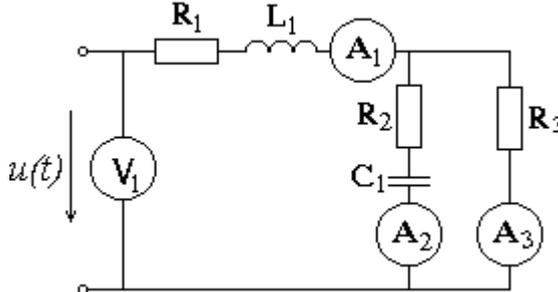
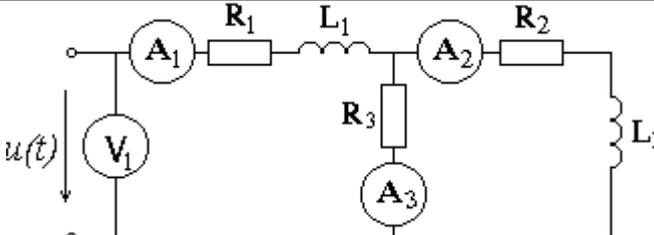
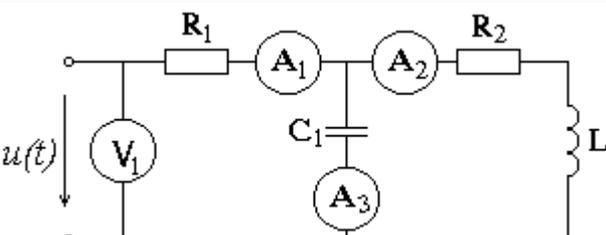
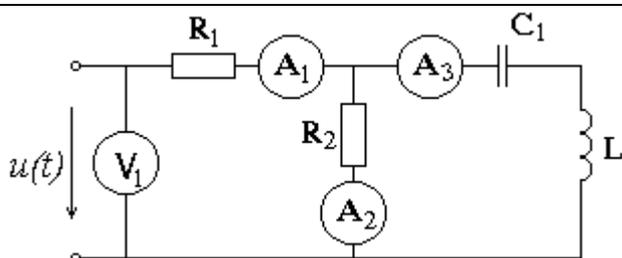
Задание 1.2. Расчет цепи переменного синусоидального тока.

К заданной электрической цепи приложено синусоидальное напряжение $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t)$ с известной амплитудой U_m и частотой f .

1. Определить показания вольтметра V_1 и амперметров A_1, A_2, A_3 .
2. Рассчитать полную, активную и реактивную мощности, потребляемые данной цепью.

Таблица 1.2.1

Выбор электрической схемы

Предпоследняя цифра шифра	Схема
0	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.1</p>
1	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.2</p>
2	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.3</p>
3	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.4</p>

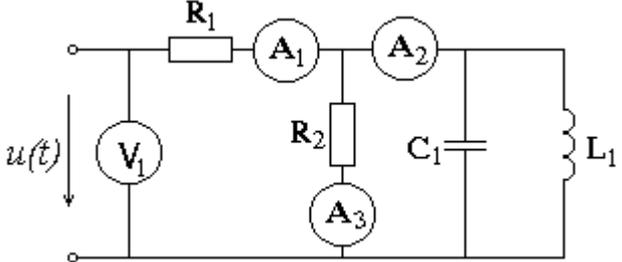
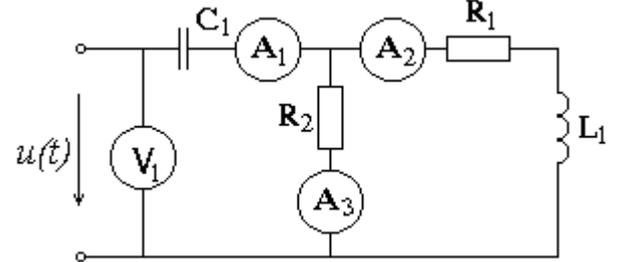
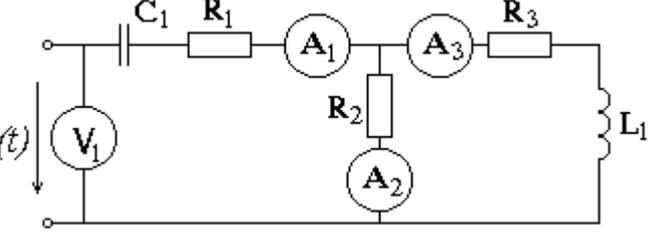
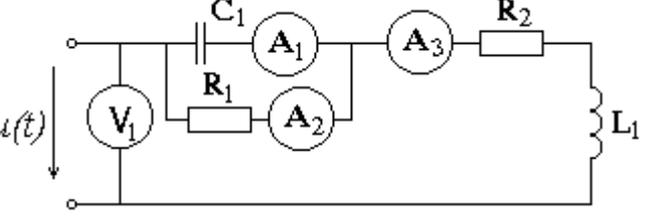
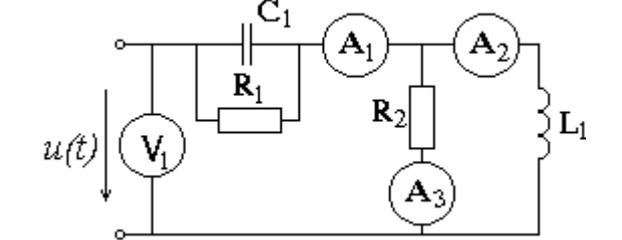
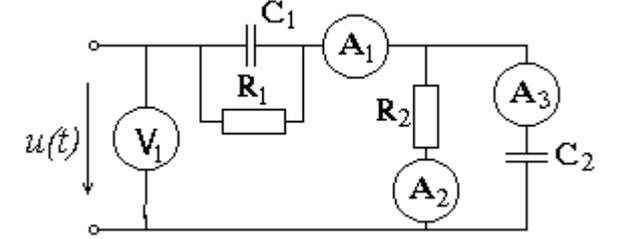
4	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.5</p>
5	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.6</p>
6	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.7</p>
7	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.8</p>
8	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.9</p>
9	 <p style="text-align: center;">Рис. 1.2.10</p>

Таблица 1.2.2

Параметры элементов цепи и напряжения

Последняя цифра шифра	R_1 , Ом	R_2 , Ом	R_3 , Ом	L_1 , мГн	L_2 , мГн	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	U_m , В	f , Гц
1	30	60	100	40	90	70	90	100	50
2	20	100	20	80	80	30	60	200	100
3	50	60	40	10	10	40	50	300	400
4	90	100	80	20	30	5	5	40	800
5	40	20	60	30	40	5	10	30	400
6	30	100	20	10	20	10	20	60	800
7	40	70	80	40	60	50	80	80	50
8	90	60	90	90	90	30	80	120	100
9	100	50	100	30	10	20	10	90	400
0	10	70	100	100	60	40	50	150	50

3. КОНТРОЛЬНОЕ ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ 2

Задание 2.1. Авиационные электрические машины постоянного тока.

Для авиационного генератора постоянного тока параллельного возбуждения определить в режиме холостого хода:

- ток возбуждения $I_{в0}$ и добавочное сопротивление в цепи возбуждения $R_{вдо}$ для получения номинального напряжения $U_{ном}$ при частоте вращения n_{min} ;
- величину добавочного сопротивления $R_{вдкр}$, при которой сопротивление цепи возбуждения генератора будет критическим $R_{вкр}$ при n_{min} ;
- напряжение на зажимах генератора при сопротивлении цепи возбуждения $R_{вкр}$ и частоте вращения n_{max} .

Определить напряжение U на зажимах генератора при номинальном токе нагрузки, добавочном сопротивлении в цепи возбуждения $R_{вдо}$ и частоте вращения n_{min} .

Характеристика холостого хода генератора постоянного тока при частоте вращения n_{min} задана табл. 2.2.1

Таблица 2.2.1

E^* , о.е.	0,075	0,40	0,83	1,00	1,15	1,20	1,25	1,30	1,37	1,44	1,50
$I_{в*}$, о.е.	0	0,50	0,75	1,00	1,30	1,50	1,75	2,00	2,50	3,00	4,00

Исходные данные к заданию 2.1 приведены в табл. 2.2.2.

Задание 2.2. Асинхронные электрические машины.

Для авиационного трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

- рассчитать и построить механическую характеристику;
- определить пусковой ток и пусковой момент при пуске двигателя переключением со «звезды» (Y) на «треугольник» (Δ);
- определить напряжение, при котором двигатель утратит перегрузочную способность.

Исходные данные к заданию 2.2 приведены в табл. 2.2.3.

Таблица 2.2.2

Генераторы постоянного тока параллельного возбуждения. Технические данные

Технические данные Две посл. цифры шифра	Номинальная мощность, $P_{ном}$, Вт	Номинальное напряжение, $U_{ном}$, В	Номинальный ток якоря, $I_{аном}$, А	Частота вращения ротора, n , об/мин.	Сопротивление обмотки якоря, R_a , Ом (при темп-ре 20 °С)	Сопротивление обмотки возбуждения, $R_{ов}$, Ом (при темп-ре 20 °С)
00,20,40,60,80	350	27,5	12,7	4000-6000	0,16	15,4
01,21,41,61,81	1000	27,5	35	4000-6000	0,03	13,6
02,22,42,62,82	1000	28,5	35,5	4000-6000	0,03	12,2
03,23,43,63,83	1500	27,5	52	4000-6000	0,03	12,3
04,24,44,64,84	1500	28,5	52,5	4000-6000	0,01	6,3
05,25,45,65,85	3000	28,5	105	4000-9000	0,024	2,42
06,26,46,66,86	3000	27,5	109	4000-8000	0,024	2,2
07,27,47,67,87	2500	27,5	90	3800-5900	0,028	3,7
08,28,48,68,88	5000	28,5	175	4000-6000	0,0052	3,2
09,29,49,69,89	6000	28,5	210	4000-9000	0,0115	2,2
10,30,50,70,90	4000	28,5	140	4000-9000	0,003	3,9
11,31,51,71,91	4500	28,5	158	4000-9000	0,005	3,3
12,32,52,72,92	675	27	25	3800-5900	0,028	8,7
13,33,53,73,93	550	27	20,5	3800-5900	0,02	7,6
14,34,54,74,94	770	27	28,5	4000-8000	0,031	8,9
15,35,55,75,95	1700	28,5	60	3800-5900	0,025	7,3
16,36,56,76,96	9000	28,5	315	4000-9000	0,0065	1,32
17,37,57,77,97	10000	28,5	250	4000-9000	0,003	1,2
18,38,58,78,98	12000	28,5	421	4000-9000	0,0041	1,25
19,39,59,79,99	18000	28,5	630	3800-9000	0,0026	0,92

Таблица 2.2.3

Авиационные трехфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором

Технические данные Две последние цифры шифра	Номинальная мощность, $P_{\text{ном}}$, Вт	Номинальная частота вращения, $n_{\text{ном}}$, об/мин.	Номинальный коэффициент мощности, $\cos \varphi$	Номинальный КПД, η	Электромагнитная мощность, $P_{\text{эм}}$, Вт	Перегрузочная способность, $K_M = M_{\text{мах}} / M_{\text{ном}}$	Кратность пускового момента, $K_P = M_P / M_{\text{ном}}$	Кратность пускового тока, $K_i = I_1 / I_{\text{ном}}$	Количество полюсов, $2p$
00,20,40,60,80	25	5800	0,6	0,38	60	1,4	0,75	5	8
01,21,41,61,81	50	5820	0,61	0,48	95	1,5	0,8	5	8
02,22,42,62,82	100	5860	0,63	0,55	165	1,6	0,9	5,5	8
03,23,43,63,83	200	5880	0,65	0,64	129	1,7	0,9	6	8
04,24,44,64,84	350	11500	0,74	0,7	460	1,7	1	6,5	4
05,25,45,65,85	1000	11500	0,75	0,78	1214	2	1,1	6,5	4
06,26,46,66,86	3500	4600	0,8	0,83	4110	2,3	1,2	7,5	10
07,27,47,67,87	1100	11400	0,76	0,8	1284	2,1	1	7	4
08,28,48,68,88	1500	7660	0,76	0,72	1930	2,2	1,2	7	6
09,29,49,69,89	2250	5800	0,58	0,73	2715	2,25	1,2	7	8
10,30,50,70,90	3000	7600	0,8	0,76	3600	2,3	1,25	7	6
11,31,51,71,91	4000	4720	0,62	0,81	4620	2,35	1,25	7	10
12,32,52,72,92	10000	7780	0,73	0,81	11480	2,5	1,3	7,5	6
13,33,53,73,93	400	11300	0,72	0,7	530	1,75	1	6,5	4
14,34,54,74,94	750	11600	0,67	0,78	902	1,9	1	6,5	4
15,35,55,75,95	5600	5560	0,69	0,76	6875	2,4	1,2	7	8
16,36,56,76,96	9500	7560	0,62	0,83	10100	2,5	1,3	7,5	6
17,37,57,77,97	3500	5500	0,62	0,74	4308	2,3	1,2	7	8
18,38,58,78,98	5000	7400	0,68	0,77	6030	2,4	1,25	7	6
19,39,59,79,99	7800	7760	0,74	0,82	9020	2,5	1,3	7,5	6

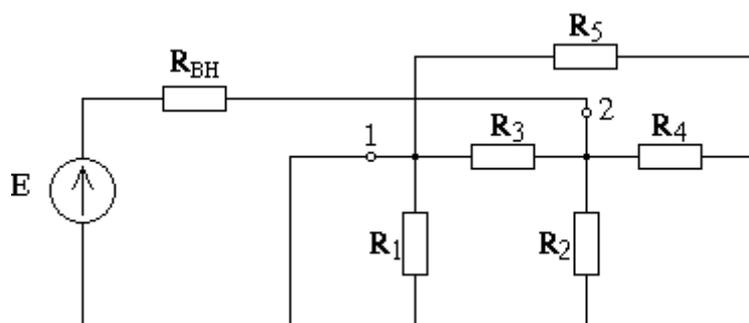
4. ПРИМЕРЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Задание 1.1

Выполняя задание 1.1, изобразите схему замещения источника как последовательное соединение источника ЭДС со значением, равным напряжению холостого хода, и внутреннего сопротивления. Заданную цепь «присоедините» к зажимам источника. Затем, применяя правила определения эквивалентного сопротивления участка цепи при последовательном и параллельном соединении элементов (сопротивлений), а также, при необходимости, преобразования соединения «звездой» в «треугольник» или «треугольником» в «звезду», найдите входное сопротивление цепи относительно заданных точек. Вычислите ток через источник, после чего токи в отдельных сопротивлениях. При этом важно научиться *видеть*, как именно в заданной схеме соединены те или другие элементы.

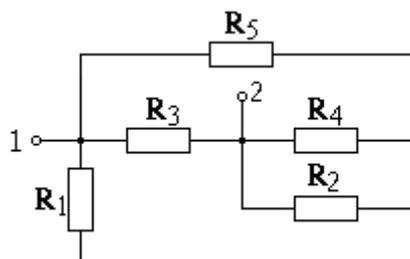
Рассмотрим примеры выполнения задания 1.

1.1. Пусть дана цепь с подключением источника к точкам 1-2.

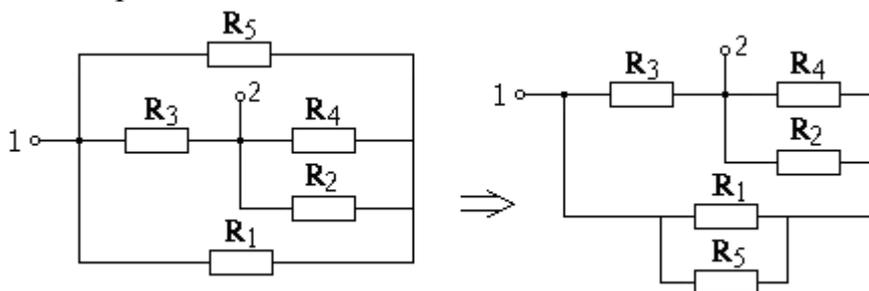


Определим входное сопротивление всей подключенной к источнику цепи.

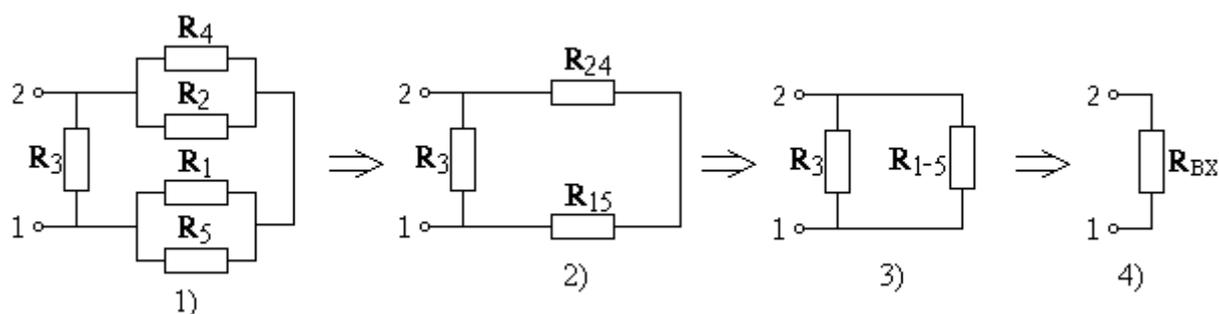
Заметим, что в данной схеме сопротивления R_4 и R_2 соединены параллельно, перерисуем схему.



Теперь, нарисовав R_1 горизонтально, заметим, что сопротивления R_5 и R_1 соединены также параллельно



Наконец, изобразив схему в удобном виде, с очевидностью констатируем структуру цепи.



Эквивалентное сопротивление параллельно соединенных R_2 и R_4

$$R_{24} = R_2 \cdot R_4 / (R_2 + R_4).$$

Эквивалентное сопротивление параллельно соединенных R_1 и R_5

$$R_{15} = R_1 \cdot R_5 / (R_1 + R_5).$$

Сопротивления R_{24} и R_{15} соединены последовательно, эквивалентное сопротивление

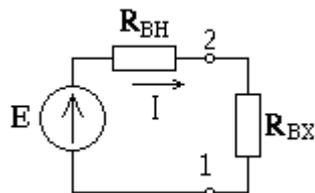
$$R_{1-5} = R_{24} + R_{15}.$$

Сопротивления R_3 и R_{1-5} соединены параллельно, поэтому окончательно входное сопротивление всей цепи

$$R_{BX} = R_3 \cdot R_{1-5} / (R_3 + R_{1-5}).$$

Подстановка численных данных и арифметические вычисления не представляют проблемы.

Восстановим схему с подключенным источником и определим ток.



По второму закону Кирхгофа

$$I \cdot R_{BH} + I \cdot R_{BX} = E,$$

следовательно, ток через источник $I = \frac{E}{R_{BH} + R_{BX}}.$

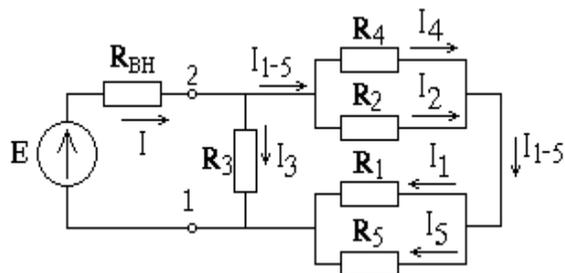
Вернемся к схеме 3.

Зная ток I , токи в параллельных ветвях I_3 и I_{1-5} можно найти по формулам «разброса»:

$$I_3 = I \cdot \frac{R_{1-5}}{R_3 + R_{1-5}}, \quad I_{1-5} = I \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_{1-5}}$$

Теперь можно вернуться к схеме 1.

Также по формулам «разброса»:



$$I_2 = I_{1-5} \cdot \frac{R_4}{R_2 + R_4},$$

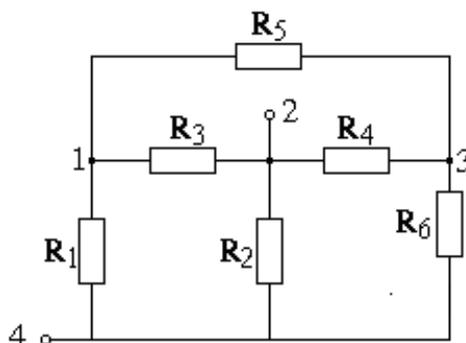
$$I_4 = I_{1-5} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_4},$$

$$I_1 = I_{1-5} \cdot \frac{R_5}{R_1 + R_5},$$

$$I_5 = I_{1-5} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_5}.$$

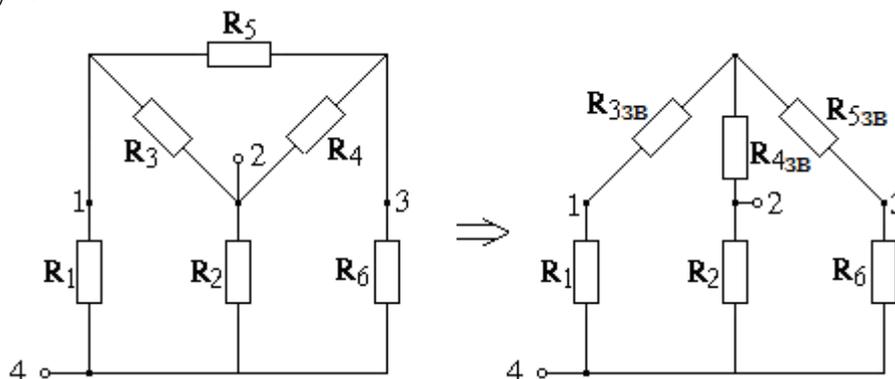
Таким образом, все токи в заданной цепи определены.

1.2. В цепи



определить входное сопротивление относительно точек 2-4.

В данной схеме можно заметить, что сопротивление R_2 включено непосредственно между точками 2-4, следовательно, вся остальная часть цепи включена параллельно ему. Однако, анализируя далее, мы не обнаружим ни одной пары элементов, которые были бы соединены последовательно или параллельно. Сам по себе этот факт говорит о том, что необходимо применить преобразование «звезда»-«треугольник» или «треугольник»-«звезда». В схеме мы обнаружим как «звезду» (например, из сопротивлений R_1, R_3, R_5), так и «треугольник» (например, из сопротивлений R_3, R_4, R_5). Остановимся на этом «треугольнике» и преобразуем его в «звезду».



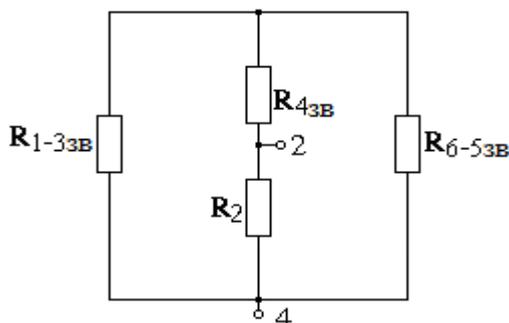
Расчет эквивалентных сопротивлений «звезды» следует выполнить по соответствующим формулам:

$$R_{3ЗВ} = R_3 \cdot R_5 / (R_3 + R_4 + R_5);$$

$$R_{4ЗВ} = R_3 \cdot R_4 / (R_3 + R_4 + R_5);$$

$$R_{5ЗВ} = R_4 \cdot R_5 / (R_3 + R_4 + R_5).$$

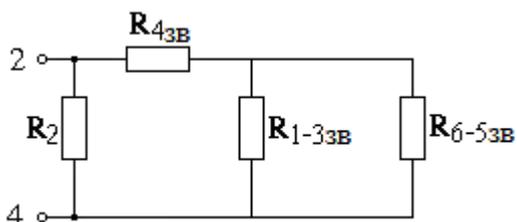
В последней схеме видно, что сопротивления $R_{3ЗВ}$ и R_1 соединены последовательно, так же как сопротивления $R_{5ЗВ}$ и R_6 . Находим соответствующие эквивалентные сопротивления:



$$R_{1-3ЗВ} = R_1 + R_{3ЗВ},$$

$$R_{6-5ЗВ} = R_6 + R_{5ЗВ}.$$

Наконец, перерисуем схему в виде, с очевидностью демонстрирующем структуру цепи



А именно, $R_{1-3ЗВ}$ и $R_{6-5ЗВ}$ соединены параллельно: $R_{Э1} = R_{1-3ЗВ} \cdot R_{6-5ЗВ} / (R_{1-3ЗВ} + R_{6-5ЗВ})$, затем последовательно $R_{4ЗВ}$: $R_{Э2} = R_{Э1} + R_{4ЗВ}$.

Наконец, параллельно R_2 , и окончательно входное сопротивление всей цепи

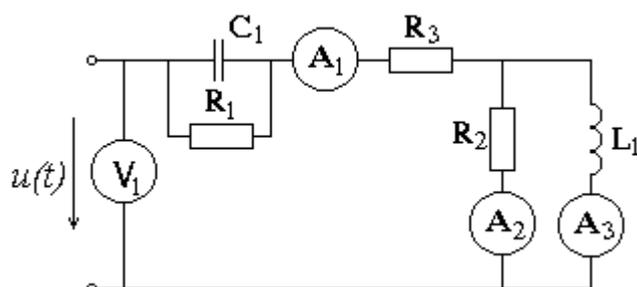
$$R_{вх12} = R_2 \cdot R_{Э2} / (R_2 + R_{Э2}).$$

Замечание: При выполнении численных расчетов обратите внимание, что при последовательном соединении нескольких сопротивлений эквивалентное сопротивление больше каждого из них (сопротивление увеличивается), а при параллельном – меньше (сопротивление уменьшается, а увеличивается проводимость).

Задание 1. 2

Это задание относится к цепям переменного синусоидального тока. При его выполнении необходимо применить символический метод, оперирующий с комплексными токами, напряжениями и ЭДС, а также комплексными сопротивлениями элементов. Соответственно надо иметь понятие о комплексных числах, алгебраической и показательной формах их представления, уметь выполнять арифметические действия с ними.

Рассмотрим пример. Реализуем пункты задания для цепи



при следующих значениях параметров элементов и приложенного напряжения:

сопротивление $R_1 = 20$ Ом;

сопротивление $R_2 = 60$ Ом;

сопротивление $R_3 = 10$ Ом;

емкость $C_1 = 10$ мкФ;

индуктивность $L_1 = 30$ мГн;

амплитуда напряжения $U_m = 120$ В;

частота напряжения $f = 400$ Гц.

2.1. Определим показания вольтметра и амперметров.

Применяем символический метод. Это означает, что приложенному синусоидальному напряжению $u(t) = U_m \cdot \sin(\omega t)$ поставим в соответствие комплексное напряжение

$$\dot{U} = U \cdot e^{j0^\circ},$$

где $U = U_m / \sqrt{2}$ - действующее значение напряжения;
 0° - нулевая начальная фаза напряжения.

$$\dot{U} = 84,9 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В.}$$

Рассчитаем комплексные сопротивления каждого элемента.

сопротивления R_1 $Z_1 = R_1 = 20 \text{ Ом};$

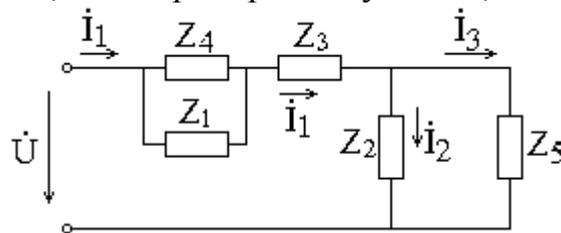
сопротивления R_2 $Z_2 = R_2 = 60 \text{ Ом};$

сопротивления R_3 $Z_3 = R_3 = 10 \text{ Ом};$

емкости C_1 $Z_4 = -j/\omega C = -j/2\pi f C = -j/2\pi \cdot 400 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = -j39,8 \text{ Ом};$

индуктивности L_1 $Z_5 = j\omega L = j2\pi f L = j2\pi \cdot 400 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = j75,4 \text{ Ом}.$

Для расчета комплексных токов изобразим схему с комплексными сопротивлениями, учтем при этом также, что сопротивление вольтметров можно принять бесконечно большим, а амперметров – нулевым, и они не влияют на расчет.



Дальнейшие действия – это использование тех же по форме методов, что и для цепей постоянного тока. В данном случае, чтобы найти комплексный ток

\dot{I}_1 , достаточно рассчитать входное комплексное сопротивление цепи и применить закон Ома. Хорошо видно, что сопротивления Z_1 и Z_4 соединены параллельно, так же как и сопротивления Z_2 и Z_5 . Найдем соответствующие эквивалентные сопротивления:

$$Z_{14} = \frac{Z_1 \cdot Z_4}{Z_1 + Z_4} = \frac{20 \cdot (-j39,8)}{20 - j39,8} = \frac{20 \cdot 39,8 \cdot e^{-j90^\circ}}{44,5 \cdot e^{-j63,3^\circ}} = 17,9 \cdot e^{-j26,7^\circ} = 16 - j8,04 \text{ Ом};$$

$$Z_{25} = \frac{Z_2 \cdot Z_5}{Z_2 + Z_5} = \frac{60 \cdot j75,4}{60 + j75,4} = \frac{60 \cdot 75,4 \cdot e^{j90^\circ}}{96,4 \cdot e^{j51,5^\circ}} = 46,9 \cdot e^{j38,5^\circ} = 36,7 + j29,2 \text{ Ом}$$

Сопротивления Z_{14} , Z_3 и Z_{25} соединены последовательно. Поэтому

$$Z_{\text{вх}} = Z_{14} + Z_3 + Z_{25} = 16 - j8,04 + 10 + 36,7 + j29,2 = 62,7 + j21,2 = 66,2 \cdot e^{j18,7^\circ} \text{ Ом}$$

Теперь находим комплексный ток \dot{I}_1

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{U}}{Z_{\text{вх}}} = \frac{84,9 \cdot e^{j0^\circ}}{66,2 \cdot e^{j18,7^\circ}} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \text{ А.}$$

Комплексные токи \dot{I}_2 и \dot{I}_3 найдем по формулам «разброса»:

$$\dot{I}_2 = I_1 \cdot \frac{Z_5}{Z_2 + Z_5} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \cdot \frac{j75,4}{60 + j75,4} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \cdot \frac{75,4 \cdot e^{j90^\circ}}{96,4 \cdot e^{j51,5^\circ}} = 1,00 \cdot e^{j19,8^\circ} \text{ A},$$

$$\dot{I}_3 = I_1 \cdot \frac{Z_2}{Z_2 + Z_5} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \cdot \frac{60}{60 + j75,4} = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \cdot \frac{60}{96,4 \cdot e^{j51,5^\circ}} = 0,80 \cdot e^{-j70,2^\circ} \text{ A}.$$

В цепях переменного тока измерительные приборы показывают действующее значение соответствующих тока или напряжения.

Поэтому показания первого вольтметра V_1 , измеряющего приложенное напряжение, фактически известны с самого начала: $U = 84,9 \text{ В}$.

Действующие значения токов соответствуют модулям комплексных токов. Поэтому:

$$\text{показания первого амперметра } A_1 \quad I_1 = 1,28 \text{ А};$$

$$\text{показания второго амперметра } A_2 \quad I_2 = 1,00 \text{ А};$$

$$\text{показания третьего амперметра } A_3 \quad I_3 = 0,80 \text{ А}.$$

2.2. Рассчитать полную, активную и реактивную мощности, потребляемые данной цепью.

Так как комплексные напряжение и ток на входе цепи нам известны,

$$\dot{U} = 84,9 \cdot e^{j0^\circ} \text{ В}, \quad \dot{I}_1 = 1,28 \cdot e^{-j18,7^\circ} \text{ А},$$

то полную, активную и реактивную мощности легко найти по формулам:

$$\text{полная} \quad S = U \cdot I;$$

$$\text{активная} \quad P = U \cdot I \cdot \cos(\varphi);$$

$$\text{реактивная} \quad Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi);$$

где U и I – действующие значения синусоидальных тока и напряжения;

φ – сдвиг (разность) фаз между током и напряжением.

$$S = 84,9 \cdot 1,28 = 109 \text{ ВА};$$

$$P = 84,9 \cdot 1,28 \cdot \cos(18,7^\circ) = 103 \text{ Вт};$$

$$Q = 84,9 \cdot 1,28 \cdot \sin(18,7^\circ) = 34,8 \text{ вар}.$$

Задание 2.1

Порядок выполнения задания:

1.1. Начертить принципиальную электрическую схему генератора постоянного тока параллельного возбуждения с добавочным сопротивлением в цепи возбуждения. Указать на схеме токи якоря I_a , возбуждения I_b , нагрузки I , напряжение U и ЭДС генератора E .

1.2. Построить характеристику холостого хода генератора, пользуясь данными табл. 2.2.1.

Значения в именованных единицах ЭДС (E , В) и тока возбуждения (I_b , А) определяются из выражений для соответствующих величин в относительных единицах (о.е.)

$$E_*, \text{ о.е.} = E / E_0 \quad \text{и} \quad I_{b*}, \text{ о.е.} = I_b / I_{b0},$$

где I_{b0} , А - ток возбуждения, при котором ЭДС холостого хода генератора

$$E_0 = U_{\text{ном}} \text{ при частоте вращения } n_{\text{min}}.$$

Величину $I_{во}$ можно определить, исходя из того, что максимальная ЭДС $E_{max} = 1,5 \cdot U_{ном}$, соответствующая току возбуждения $I_{vmax} = 4 \cdot I_{во}$, может быть получена после окончания процесса самовозбуждения при n_{min} и значении $R_{вд} = 0$, т.е. при сопротивлении цепи возбуждения

$$R_{в} = R_{вт} + R_{вд} = R_{вт},$$

где $R_{вт} = R_{ов} \cdot (1 + \alpha \cdot (t_{раб} - t_{окр}))$ - сопротивление обмотки возбуждения генератора, приведенное к рабочей температуре $t_{раб} = 120^\circ\text{C}$;

$R_{ов}$ - сопротивление обмотки возбуждения при температуре окружающей среды $t_{окр} = 20^\circ\text{C}$;

$\alpha = 0,0038 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ - температурный коэффициент меди.

Таким образом, $E_{max} = I_{vmax} \cdot R_{вт}$ или $1,5 \cdot U_{ном} = 4 \cdot I_{во} \cdot R_{вт}$,

откуда $I_{во} = 0,375 \cdot U_{ном} / R_{вт}$.

1.3. Для определения сопротивления $R_{вдо}$, которое необходимо ввести в цепь возбуждения генератора, чтобы получить на его зажимах $E_0 = U_{ном}$ при n_{min} , требуется построить вольт-амперную характеристику цепи возбуждения, проходящую через точку $[I_{во}, U_{ном}]$. В этом случае уравнение вольт-амперной характеристики имеет вид

$$U_{ном} = I_{во} \cdot R_{в} = I_{во} \cdot (R_{вт} + R_{вдо}),$$

откуда $R_{вдо} = (U_{ном} / I_{во}) - R_{вт}$.

1.4. Для определения критического значения добавочного сопротивления в цепи возбуждения генератора $R_{вдкр}$ при n_{min} необходимо построить вольт-амперную характеристику цепи возбуждения как касательную к начальному участку характеристики холостого хода. Величина $R_{вдкр}$ определяется аналогично п.1.3.

1.5. Чтобы определить, какое напряжение будет на зажимах генератора, если при сопротивлении цепи возбуждения $R_{вкр}$ частота вращения повысится до значения n_{max} , необходимо построить характеристику холостого хода для верхнего предела частоты вращения, учитывая, что в соответствии с выражением для ЭДС машины постоянного тока $E = c_e \cdot n \cdot \Phi$ при заданной величине потока возбуждения Φ (тока $I_{в}$)

$$E_{max} = E_{min} \cdot (n_{max} / n_{min}).$$

1.6. В режиме нагрузки напряжение на зажимах генератора будет равно

$$U = E - I_a \cdot R_{ат},$$

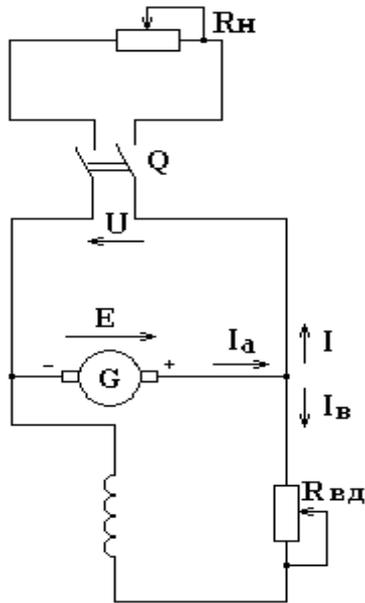
где $R_{ат}$ - сопротивление обмотки якоря генератора, приведенное к рабочей температуре $t_{раб} = 120^\circ\text{C}$ (аналогично $R_{вт}$).

Пример выполнения задания 2.1

Технические данные генератора постоянного тока параллельного возбуждения:

- номинальная мощность $P_{ном} = 12000 \text{ Вт}$;
- номинальное напряжение $U_{ном} = 28 \text{ В}$;
- частота вращения $n = 4000\text{-}6000 \text{ об/мин.}$;
- номинальный ток якоря $I_{аном} = 400 \text{ А}$;
- сопротивление обмотки возбуждения (при температуре 20°C) $R_{ов} = 1,2 \text{ Ом}$;

- сопротивление обмотки якоря (при температуре 20°C) $R_a = 0,025 \text{ Ом}$.



1.1. Сопротивления обмоток генератора, приведенные к рабочей температуре ($t_{\text{раб}} = 120^\circ\text{C}$):

$$R_{\text{вт}} = R_{\text{ов}} \cdot (1 + \alpha \cdot (t_{\text{раб}} - t_{\text{окр}})) = 1,2 \cdot (1 + 0,0038(120 - 20)) = 1,68 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ат}} = R_a \cdot (1 + \alpha \cdot (t_{\text{раб}} - t_{\text{окр}})) = 0,025 \cdot (1 + 0,0038(120 - 20)) = 0,035 \text{ Ом}.$$

Ток возбуждения

$$I_{\text{во}} = 0,375 \cdot U_{\text{ном}} / R_{\text{вт}} = 0,375 \cdot 28 / 1,68 = 6,25 \text{ А}.$$

Рис. 2.1. Принципиальная электрическая схема генератора постоянного тока

В режиме холостого хода выключатель Q на схеме разомкнут, ток нагрузки $I = 0$, токи $I_{\text{в}}$ и $I_{\text{а}}$ равны.

1.2. По данным табл. 2.2.4 строим характеристики холостого хода для двух значений частоты вращения (рис 2.2).

Таблица 2.2.4

Характеристики холостого хода в именованных единицах

$I_{\text{в}}, \text{ А}$	0	3,12	4,69	6,25	8,13	9,38	10,94	12,50	15,63	18,75	25,00	Примечан.
$E_{\text{min}}, \text{ В}$	2,10	11,20	23,24	28,00	32,20	33,60	35,00	36,40	38,36	40,32	42,00	$n = n_{\text{min}}$
$E_{\text{max}}, \text{ В}$	3,15	16,80	34,86	42,00	48,30	50,40	52,50	54,60	57,54	60,48	63,00	$n = n_{\text{max}}$

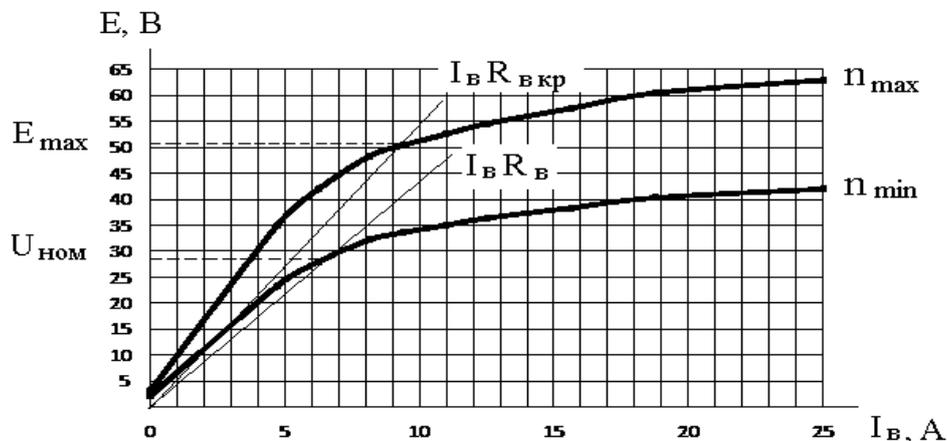


Рис. 2.2. Характеристики холостого хода генератора $E = f(I_{\text{в}})$ при $n_{\text{min}} = 4000 \text{ об/мин}$ и $n_{\text{max}} = 6000 \text{ об/мин}$.

1.3. Построив вольт-амперную характеристику цепи возбуждения генератора $I_B \cdot R_B$, проходящую через точку $[I_{B0}, U_{ном}]$, определяем

$$R_{вдо} = (U_{ном} / I_{B0}) - R_{вт} = (28 / 6,25) - 1,68 = 2,8 \text{ Ом.}$$

1.4. Критическое значение $R_{вдкр}$, при котором невозможно самовозбуждение генератора с минимальной частотой вращения, определяется по вольт-амперной характеристике $I_B \cdot R_{вкр}$, касательной к начальному участку характеристики холостого хода при n_{\min}

$$R_{вдкр} = (16 / 3) - 1,68 = 3,65 \text{ Ом.}$$

1.5. При этом, если частота вращения генератора повысится до n_{\max} , напряжение на его зажимах будет $E_{\max} = 51 \text{ В}$ (соответствующее построение показано на рис. 2.2).

1.6. В режиме нагрузки (выключатель Q в схеме рис. 2.1 замкнут) по обмотке якоря протекает ток $I_a = I + I_B$.

При номинальном токе якоря напряжение на зажимах генератора (без учета размагничивающего действия поперечной реакции якоря) становится равным

$$U = E_0 - I_{аном} \cdot R_{ат} = 28 - 400 \cdot 0,035 = 14 \text{ В.}$$

Для поддержания напряжения равным номинальному $U_{ном} = 28 \text{ В}$ необходимо увеличить ЭДС генератора до величины

$$E = U_{ном} + I_{аном} \cdot R_{ат} = 28 + 400 \cdot 0,035 = 42 \text{ В.}$$

Такую ЭДС при заданной частоте вращения n_{\min} можно получить при значении $R_{вд} = 0$ и токе возбуждения $I_B = 25 \text{ А}$ (рис. 2.2).

Задание 2.2

Авиационный трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором работает от сети с номинальным линейным напряжением $U_{1л} = 200 \text{ В}$ и номинальной частотой $f_1 = 400 \text{ Гц}$ при соединении обмотки статора «треугольником».

Порядок выполнения задания:

2.1. Соблюдая требования ЕСКД, начертить принципиальную электрическую схему трехфазного асинхронного двигателя с использованием переключателя, обеспечивающего соединение обмоток статора «звездой» при пуске и «треугольником» в рабочем режиме.

На схеме указать напряжение сети $u_{1л}$, фазный $i_{1ф}$ и линейный $i_{1л}$ токи.

2.2. По данным табл. 2.2.2 определить скольжения:

номинальное

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1} \quad \text{или} \quad s_{ном} = \frac{\Omega_1 - \Omega_{ном}}{\Omega_1},$$

где $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$ - частота вращения поля, об/мин.;

$$\Omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} - \text{угловая скорость вращения поля, рад/с;}$$

и критическое

$$s_{кр} = s_{ном} \cdot (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1})$$

2.3. Для построения механической характеристики можно использовать упрощенную формулу (формулу Клосса)

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

где M_{max} – максимальный момент двигателя, соответствующий критическому скольжению.

2.4. Учитывая, что при скольжениях, превышающих критическое, расчеты по приближенной формуле Клосса дают значительную ошибку, величины номинального и пускового момента можно определить следующим образом

$$M_{ном} = \frac{P_{эм}}{\Omega_1}; \quad M_n = M_{ном} \cdot K_n$$

Также необходимо уточнить значение

$$M_{max} = M_{ном} \cdot K_m$$

2.5. Для расчета токов и моментов при пуске переключением со «звезды» на «треугольник» следует учитывать следующие соотношения.

При соединении Δ :

- номинальный ток фазы обмотки статора

$$I_{1\phi\Delta} = \frac{P_{1ном}}{3 \cdot U_{1\phi\Delta} \cdot \cos \varphi} = \frac{P_{1ном}}{3 \cdot U_{1л} \cdot \cos \varphi},$$

где $P_{1ном} = P_{ном} / \eta$ - потребляемая двигателем мощность в номинальном режиме;

- линейный ток $I_{1л\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{1\phi\Delta};$

- пусковой линейный ток, потребляемый из сети

$$I_{n\Delta} = I_{1л\Delta} \cdot K_i$$

При соединении Y :

- напряжение фазы обмотки статора

$$U_{1\phi Y} = U_{1\phi\Delta} / \sqrt{3};$$

- ток фазы обмотки статора

$$I_{1\phi Y} = I_{1\phi\Delta} / \sqrt{3};$$

- линейный ток равен фазному

$$I_{1л Y} = I_{1\phi Y}$$

Отношения фазных и линейных токов

$$\frac{I_{1\phi Y}}{I_{1\phi\Delta}} = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \frac{I_{1л Y}}{I_{1л\Delta}} = \frac{I_{1\phi\Delta}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{1\phi\Delta}} = \frac{1}{3}.$$

Таким образом, при соединении «звездой» ток, протекающий по фазе обмотки статора двигателя, уменьшается в $\sqrt{3}$ раз, а линейный ток - в 3 раза.

Также в 3 раза уменьшается и линейный ток, потребляемый из сети при пуске $I_{nY} = I_{n\Delta} / 3$, то есть выполняется основное требование к режиму пуска двигателей - ограничение пускового тока.

При этом также уменьшаются пусковой и максимальный моменты, так как электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения, поданного на фазу обмотки статора. Так как при соединении «звездой» это напряжение уменьшается в $\sqrt{3}$ раз, то

$$M_{nY} = \frac{M_{n\Delta}}{(\sqrt{3})^2} = \frac{M_{n\Delta}}{3} \quad M_{maxY} = \frac{M_{max\Delta}}{(\sqrt{3})^2} = \frac{M_{max\Delta}}{3}$$

Перегрузочная способность также снижается в 3 раза.

Напряжение, при котором двигатель утрачивает перегрузочную способность в рабочем режиме $U'_{1\phi\Delta} = U_{1\phi\Delta} / \sqrt{K_M}$.

Пример выполнения задания 2.2.

Технические данные трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором:

- номинальная мощность $P_{ном} = 500$ Вт;
- номинальное линейное напряжение $U_{1л} = 200$ В;
- номинальная частота $f_1 = 400$ Гц;
- номинальная частота вращения $n_2 = 5800$ об/мин.;
- номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi = 0,7$;
- номинальный КПД $\eta = 0,73$;
- электромагнитная мощность $P_{эм} = 535$ Вт;
- перегрузочная способность $K_M = 1,8$;
- кратность пускового момента $K_n = 0,9$;
- кратность пускового тока $K_i = 6$;
- число полюсов $2p = 8$.

2.1. Номинальное скольжение

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_{ном}}{n_1} = \frac{6000 - 5800}{6000} = 0,033,$$

где частота вращения поля $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 400}{4} = 6000$ об/мин.;

угловая скорость вращения поля $\Omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 400}{4} = 628$ рад/с .

2.2. Критическое скольжение

$$s_{кр} = s_{ном} \cdot (K_M + \sqrt{K_M^2 - 1}) = 0,033 \cdot (2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1}) = 0,137$$

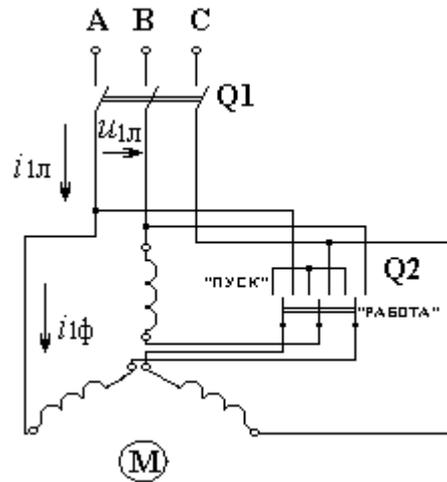


Рис. 2.3. Принципиальная электрическая схема асинхронного двигателя

2.3. Механическую характеристику удобно строить по упрощенной формуле в относительных единицах

$$M_* = 2 / (s / s_{кр} + s_{кр} / s),$$

где $M_* = M / M_{max}$ - относительное значение электромагнитного момента двигателя.

Результаты расчета сведены в табл. 2.2.5

Таблица 2.2.5

s	0	0,02	0,033	0,07	0,137	0,2	0,5	1,00
M_*	0	0,29	0,46	0,81	1,00	0,93	0,51	0,27
$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	0	0,53	0,85	1,52	1,87	1,74	0,95	0,64

2.4. Определяем величины номинального, пускового и максимального момента

$$M_{ном} = P_{эм} / \Omega_1 = 535 / 628 = 0,85 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_n = M_{ном} \cdot K_n = 0,85 \cdot 0,75 = 0,64 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{max} = M_{ном} \cdot K_m = 0,85 \cdot 2,2 = 1,87 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

По данным табл. 2.2.5 и расчетов п.2.4 на рис. 2.4 построена механическая характеристика двигателя $M = f(s)$.

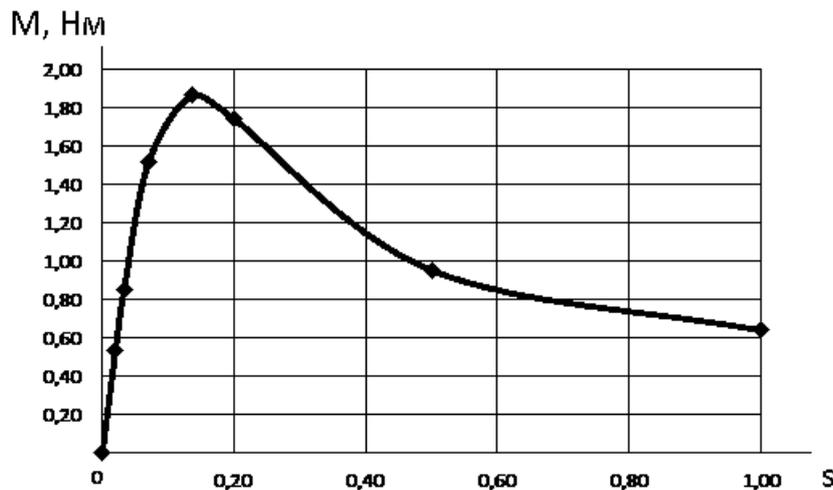


Рис. 2.4. Механическая характеристика асинхронного двигателя

2.5. Рассчитаем токи и моменты при пуске переключением со «звезды» на «треугольник».

При соединении Δ :

- потребляемая мощность в номинальном режиме

$$P_{1ном} = P_{ном} / \eta = 500 / 0,73 = 685 \text{ Вт};$$

- номинальный ток фазы обмотки статора

$$I_{1\phi\Delta} = \frac{P_{1ном}}{3 \cdot U_{1\phi\Delta} \cdot \cos \varphi} = \frac{P_{1ном}}{3 \cdot U_{1л} \cdot \cos \varphi} = \frac{685}{3 \cdot 200 \cdot 0,7} = 1,63 \text{ А};$$

- линейный ток

$$I_{1л\Delta} = \sqrt{3} \cdot I_{1\phi\Delta} = \sqrt{3} \cdot 1,63 = 2,82 \text{ А};$$

- пусковой линейный ток, потребляемый из сети

$$I_{n\Delta} = I_{1л\Delta} \cdot K_i = 2,82 \cdot 6 = 17 \text{ А}.$$

При соединении Y :

- напряжение фазы обмотки статора

$$U_{1\phi Y} = U_{1\phi\Delta} / \sqrt{3} = 200 / \sqrt{3} = 115 \text{ В};$$

- ток фазы обмотки статора

$$I_{1\phi Y} = I_{1\phi\Delta} / \sqrt{3} = 1,63 / \sqrt{3} = 0,94 \text{ А};$$

- линейный ток равен фазному

$$I_{1л Y} = I_{1\phi Y} = 0,94 \text{ А};$$

- пусковой момент

$$M_{n Y} = \frac{M_{n\Delta}}{(\sqrt{3})^2} = \frac{M_{n\Delta}}{3} = \frac{0,64}{3} = 0,21 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- максимальный момент

$$M_{max Y} = \frac{M_{max\Delta}}{(\sqrt{3})^2} = \frac{M_{max\Delta}}{3} = \frac{1,87}{3} = 0,61 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Отношения фазных и линейных токов

$$\frac{I_{1\phi Y}}{I_{1\phi\Delta}} = \frac{1,63}{\sqrt{3} \cdot 1,63} = \frac{1}{\sqrt{3}}, \quad \frac{I_{1л Y}}{I_{1л\Delta}} = \frac{I_{1\phi\Delta}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{1\phi\Delta}} = \frac{1,63}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{3} \cdot 1,63} = \frac{1}{3}$$

Напряжение, при котором двигатель утрачивает перегрузочную способность в рабочем режиме

$$U'_{1\phi\Delta} = U_{1\phi\Delta} / \sqrt{K_m} = 200 / \sqrt{2,2} = 135 \text{ В}.$$

Содержание

1. Общие методические указания к выполнению контрольных домашних заданий.....	3
1.1. Цель контрольных домашних заданий.....	3
1.2. Требования к оформлению КДЗ	3
1.3. Указания к выбору варианта.....	3
1.4. Литература.....	3
2. Контрольное домашнее задание 1	4
Задание 1.1. Расчет цепи постоянного тока.....	4
Задание 1.2. Расчет цепи переменного синусоидального тока.....	6
3. Контрольное домашнее задание 2.....	9
Задание 2.1 Авиационные электрические машины постоянного тока.....	9
Задание 2.2 Асинхронные электрические машины.....	9
4. Примеры и методические указания.....	12