

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»


Филиал федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»
в г. Петровске

УТВЕРЖДАЮ
Директор филиала СГТУ
имени Гагарина Ю.А. в г. Петровске
Е.А. Бесшапошникова
«30» июня 2021 г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

по междисциплинарному курсу
МДК. 01.01 «Электроснабжение электротехнического оборудования»
специальности
13.02.07 «Электроснабжение (по отраслям)»

Методические указания рассмотрены
на заседании предметной (цикловой)
комиссии общепрофессиональных
дисциплин, профессиональных модулей
специальностей
технического профиля
«14» июня 2021 года, протокол № 13
Председатель ПЦК  /Т.А.Лескина/

Петровск 2021

Пояснительная записка.

Методические указания по выполнению практических работ разработаны в соответствии с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 «Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям», требованиями Федерального государственного образовательного стандарта (далее – ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) 13.02.07 Электроснабжение (по отраслям), утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 14.12.2017 № 1216 и соответствующих общих (ОК) и профессиональных (ПК) компетенций:

- ОК 01 Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.
- ОК 02 Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.
- ОК 03 Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие.
- ОК 04 Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.
- ОК 05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.
- ОК 06 Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей.
- ОК 07 Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.
- ОК 08 Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности.
- ОК 09 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.
- ОК 10 Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.
- ОК 11 Использовать знания по финансовой грамотности, планировать предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере.
- ПК 1.1 Выполнять основные виды работ по проектированию электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования.

Изучение профессионального модуля направлено на освоение основного вида деятельности «Организация электроснабжения электрооборудования по отраслям».

При выполнении практических работ студент должен **уметь**:

- разрабатывать электрические схемы электроснабжения электротехнического и электротехнологического оборудования по отраслям;
- заполнять дефектные ведомости, ведомости объема работ с перечнем необходимых запасных частей и материалов, маршрутную карту, другую техническую документацию; схема распределительных сетей 35 кВ, находящихся в зоне эксплуатационной ответственности;
- читать простые эскизы и схемы на несложные детали и узлы;
- пользоваться навыками чтения схем первичных соединений электрооборудования электрических станций и подстанций;
- читать схемы первичных соединений электрооборудования электрических станций и подстанций;
- осваивать новые устройства (по мере их внедрения);
- организация разработки и пересмотра должностных инструкций подчиненных работников более высокой квалификации;
- читать схемы питания и секционирования контактной сети и воздушных линий электропередачи в объеме, необходимом для выполнения простых работ по техническому обслуживанию и текущему ремонту контактной сети, воздушных линий электропередачи под напряжением и вблизи частей, находящихся под напряжением;
- читать схемы питания и секционирования контактной сети в объеме, необходимом для выполнения работы в опасных местах на участках с высокоскоростным движением;
- читать принципиальные схемы устройств и оборудования электроснабжения в объеме, необходимом для контроля выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования тяговых и трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения.

При выполнении практических работ студент должен **знать**:

- устройство электротехнического и электротехнологического оборудования по отраслям;
- устройство и принцип действия трансформатора. Правила устройства электроустановок;
- устройство и назначение неактивных (вспомогательных) частей трансформатора;
- принцип работы основного и вспомогательного оборудования распределительных устройств средней сложности напряжением до 35 кВ;
- конструктивное выполнение распределительных устройств;

- конструкция и принцип работы сухих, масляных, двухобмоточных силовых трансформаторов мощностью до 10 000 кВА напряжением до 35 кВ;
- устройство, назначение различных типов оборудования (подвесной, натяжной изоляции, шинопроводов, молниезащиты, контуров заземляющих устройств), области их применения;
- элементы конструкции закрытых и открытых распределительных устройств напряжением до 110 кВ, минимальные допускаемые расстояния между оборудованием;
- устройство проводок для прогрева кабеля;
- устройство освещения рабочего места;
- назначение и устройство отдельных элементов контактной сети и трансформаторных подстанций;
- назначение устройств контактной сети, воздушных линий электропередачи;
- назначение и расположение основного и вспомогательного оборудования на тяговых подстанциях и линейных устройствах тягового электроснабжения;
- контроль соответствия проверяемого устройства проектной документации и взаимодействия элементов проверяемого устройства между собой и с другими устройствами защит;
- устройство и способы регулировки вакуумных выключателей и элегазового оборудования;
- изучение устройства и характеристик, отличительных особенностей оборудования нового типа, принципа работы сложных устройств автоматики оборудования нового типа интеллектуальной основе;
- однолинейные схемы тяговых подстанций.

Содержание практических занятий определено рабочей программой и тематическим планированием, соответствует теоретическому материалу изучаемых разделов учебной дисциплины.

Объём практических занятий по дисциплине определяется учебным планом по данной специальности.

Продолжительность практического занятия - 2 академических часа. Перед проведением практического занятия преподавателем организуется инструктаж, а по ее окончании – обсуждение итогов.

Комплект методических указаний по выполнению практических работ по междисциплинарному курсу МДК.01.01 «Электроснабжение электротехнического оборудования» содержит 22 практических занятия.

ИНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Прежде чем приступить к выполнению заданий, внимательно прочитайте данные рекомендации

1. Практические работы проводятся под наблюдением преподавателя. К выполнению практических работ обучающиеся допускаются только после прослушивания инструктажа по технике безопасности.

2. Все практические работы проводятся за партами учебного кабинета. Обучающимся не разрешается без уважительной причины отлучаться из кабинета до полного окончания практических работ.

3. Перед началом работы длинные волосы следует заколоть.

4. На рабочем месте должны находиться только необходимые для работы материалы и инструменты.

5. С ножницами следует пользоваться аккуратно, передавать их кольцами вперед.

6. Необходимо следить за чистотой рабочего места.

7. После завершения работы обучающиеся обязаны собрать инструменты, материалы, методические пособия и сдать их преподавателю, убрать рабочее место.

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ.

МДК.01.01 Электроснабжение электротехнического оборудования

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

Тема: Расчет и составление схемы обмотки якоря

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

Тема: Определение параметров машины постоянного тока

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

Тема: Определение параметров трансформатора

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

Тема: Определение параметров асинхронного двигателя

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

Тема: Определение параметров синхронного генератора.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

Тема: Оценка нагрузочной способности трансформаторов

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7

Тема: Выбор мощности заводской подстанции

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №8

Тема: Выбор шин и ошиновки на подстанциях

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №9

Тема: Выбор и проверка гибких шин, комплектных токопроводов, силовых кабелей

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №10

Тема: Изучение конструкции, схемы подключения, параметров рубильник контакторов и магнитных пускателей напряжением до 1000 В.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №11

Составление схемы заполнения ЗРУ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №12

Составление схемы заполнения ЗРУ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №13

Составление схемы заполнения ЗРУ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №14

Тема: Расчет заземления распределительного устройства

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №15

Тема: Расчет заземления распределительного устройства

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №16

Тема: Расчет заземления распределительного устройства

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №17

Тема: Выбор выключателей, разъединителей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №18

Тема: Выбор выключателей, разъединителей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №19

Тема: Выбор выключателей, разъединителей.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №20

Тема: Выбор трансформаторов тока и напряжения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №21

Тема: Выбор трансформаторов тока и напряжения.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №22

Тема: Схемы электроснабжения железных дорог

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Тема: РАСЧЕТ И СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ОБМОТКИ ЯКОРЯ

Цель: приобрести навыки расчета основных параметров обмотки якоря

Студент должен знать:

- технические параметры якоря;

уметь:

- рассчитывать основные параметры.

Справочный материал

Основными параметрами трансформаторов являются:

- 1) Номинальная мощность $S_{ном}$. Это полная мощность (кВА), которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение своего срока службы (20...25 лет) при номинальном напряжении.
- 2) Номинальное первичное напряжение $U_{ном1}$. Это напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора.
- 3) Номинальное вторичное напряжение $U_{ном2}$. Это напряжение на выводах вторичной обмотки трансформатора при холостом ходе и номинальном первичном напряжении. При нагрузке вторичное напряжение U_2 снижается из-за потерь в трансформаторе.
- 4) Номинальный первичный и вторичный токи $I_{ном1}$ и $I_{ном2}$. Это токи, вычисленные по номинальной мощности и номинальным напряжениям. Для однофазного трансформатора

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{U_{ном1} \eta} \quad I_{ном2} = \frac{S_{ном}}{U_{ном2}} \quad (1.1)$$

где η - к.п.д. трансформатора.

Эта величина близка к 1,0 из-за малых потерь в трансформаторе. На практике при определении токов принимают $\eta=1,0$.

Трансформаторы чаще всего работают с нагрузкой меньше номинальной. Поэтому вводят понятие о коэффициенте нагрузки k_n , который равен отношению мощности, отдаваемой трансформатором потребителю к номинальной мощности трансформатора. Значения отдаваемых трансформатором активной и реактивной мощностей зависят от коэффициента мощности потребителя $\cos \varphi_2$:

$$P_2 = S_{ном} \cdot \cos \varphi_2; \quad Q = S_{ном} \sin \varphi_2. \quad (1.2)$$

Ход работы

Задание содержит задачу на расчет однофазного трансформатора. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

- 1) Произвести расчеты для задачи. Расчеты сопровождайте пояснениями.
- 2) Изобразить схему включения однофазного трансформатора в

соответствии с заданием. При изображении схемы соблюдайте правило начертания схем и элементов.

3) Подготовить ответы на контрольные вопросы.

4) Оформить отчет по практической работе.

Задача

Для питания пониженным напряжением цепей управления электродвигателями на пульте установлен однофазный трансформатор номинальной мощностью $S_{\text{ном}}$. Номинальные напряжения обмоток $U_{\text{ном1}}$ и $U_{\text{ном2}}$; номинальные токи $I_{\text{ном1}}$ и $I_{\text{ном2}}$. Коэффициент трансформации равен K . Числа витков обмоток w_1 и w_2 . Магнитный поток в магнитопроводе Φ_m . Частота тока сети $f = 50$ Гц. Трансформатор работает с номинальной нагрузкой. Потери в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные трансформатора, указанные в таблице 1.1, определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить схему включения такого трансформатора в сеть. Ко вторичной обмотке присоединить нагрузку в виде обычного резистора R_n . Для включения и отключения нагрузки предусмотреть рубильник, а для защиты сетей от токов короткого замыкания включить в цепь обоих обмоток предохранители.

Таблица 1.1 – Данные для расчета

Номер варианта	$S_{\text{ном}}$, ВА	$U_{\text{ном1}}$, В	$U_{\text{ном2}}$, В	$I_{\text{ном1}}$, А	$I_{\text{ном2}}$, А	w_1	w_2	K	Φ_m Вб
1	-	380	-	1,43	-	-	-	15,8	0,005
2	-	220	24	-	33,4	198	-	-	-
3	1600	-	12	-	-	770	-	31,6	-
4	-	127	-	4,72	25	-	108	-	-
5	3200	380	36	-	-	-	-	-	0,025
6	-	220	24	3,64	-	-	-	-	0,005
7	500	-	-	1,0	-	750	54	-	-
8	-	220	-	-	20,8	400	22	-	-
9	250	500	-	-	-	-	-	20,8	0,0015
10	-	-	12	3,2	-	3000	-	41,6	-
11	400	-	12	-	-	-	-	18,3	0,02
12	-	-	36	1,0	-	-	-	13,9	0,003
13	-	380	-	4,2	-	-	24,4	-	0,002
14	600	220	-	-	-	4970	-	6,12	-
15	-	-	24	-	25	573	-	-	0,001
16	-	500	-	-	13,9	-	-	13,9	0,003
17	100	-	24	-	-	-	30	15,8	-
18	-	-	24	0,5	10,4	-	-	-	0,0018
19	-	380	-	-	133	770	-	31,6	-
20	800	-	-	3,64	-	-	22	9,18	-

Контрольные вопросы

- 1) Приведите определения номинальных параметров трансформатора: мощности; напряжений обмоток; токов.
- 2) Что определяет коэффициент нагрузки трансформатора?
- 3) Как изменяется вторичное напряжение при увеличении нагрузки и почему?
- 4) Как изменится соотношение между активной и реактивной мощностями, отдаваемыми трансформатором, при увеличении коэффициента мощности потребителя до 1,0?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Решение задачи с пояснениями.
- 3) Схема включения однофазного трансформатора.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель: Научиться рассчитывать и строить внешнюю характеристику машины постоянного тока

Студент должен *знать*:

- зависимость изменения напряжения от характера нагрузки;
- уметь*:
- производить расчет и построение внешней характеристики.

Справочный материал

Внешняя характеристика трансформатора представляет собой зависимость между вторичным током и напряжением при изменении нагрузки, неизменном значении первичного напряжения U_1 и заданном коэффициенте мощности $\cos \varphi_2$ во вторичной цепи.

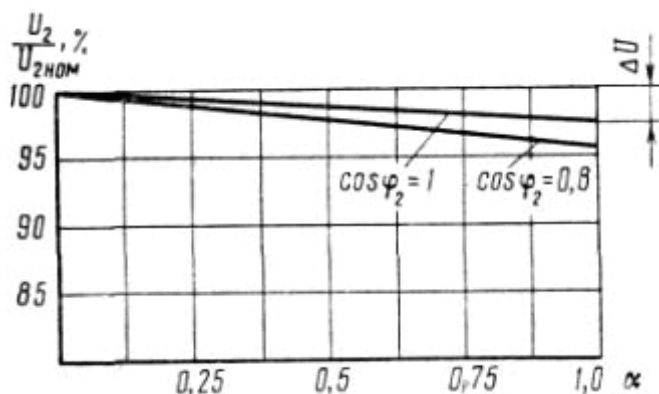


Рисунок 2.1 – Внешняя характеристика трансформатора

Вторичное напряжение U_2 при нагрузке отличается от напряжения холостого хода на величину изменения напряжения, которое зависит от величины нагрузки.

Внешняя характеристика может быть построена как по расчетным данным активного и индуктивного падений напряжения (расчетная внешняя характеристика), так и по опытным данным (внешняя характеристика конкретного трансформатора). Построение внешней характеристики показано на рисунке 2.1. По оси ординат откладывается вторичное напряжение U_2 , а по оси абсцисс - величина нагрузки α (в % или долях от номинальной мощности). Начальная точка внешней характеристики начинается от ординаты, равной $U_{2\text{ном}}$, а другой ее конец, против абсциссы $\alpha = 1$ (т. е. при номинальной нагрузке), будет опущен против начала на величину ΔU - изменения напряжения.

Так как изменение напряжения пропорционально нагрузочному току I_2 , то внешняя характеристика практически представляет прямую линию. На рисунке 2.1 построены две внешние характеристики – для $\cos \varphi_2 = 1$ и $\cos \varphi_2 = 0,8$.

Положения характеристик зависят от мощности и характера нагрузки трансформатора и при малой мощности они могут поменяться местами (при активной и активно-индуктивной нагрузках).

Ход работы

- 1) Прочитать Справочный материал .
- 2) Выписать данные для своего варианта.
- 3) Решить задачу. Расчеты сопровождайте пояснениями.
- 4) Ответить на контрольные вопросы.

Задача 3

Для трехфазного силового трансформатора известны следующие технические данные: номинальная мощность $S_{\text{ном}}$ номинальное первичное напряжение $U_{1\text{ном}}$ номинальное вторичное напряжение $U_{2\text{ном}}$, напряжение короткого замыкания u_k , мощность потерь короткого замыкания p_k , мощность потерь холостого хода p_0 , коэффициент мощности нагрузки $\cos \varphi_2$, мощность нагрузки P_2 , максимальная магнитная индукция в сердечнике $B_{\text{тах}}$, число витков первичной обмотки w_1 . Используя данные таблицы 2.1, определить:

- 1) Номинальные токи трансформатора и токи при заданной нагрузке.
- 2) Коэффициент нагрузки.
- 3) КПД трансформатора при заданной нагрузке, наибольший КПД,
- 4) Напряжение на зажимах вторичной обмотки при заданной нагрузке, а также при коэффициентах нагрузки $\beta = 0,25; 0,5; 0,75, 1$.
- 5) Построить внешнюю характеристику трансформатора.

Таблица 2.1 - Исходные данные к задаче

Величины	варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{\text{ном2}}, \text{кВА}$	630	400	160	160	250	25	63	40	100	100
$U_{\text{ном1}}, \text{В}$	10	10	6	10	10	6	6	6	6	10

$U_{ном2}, В$	0,69	0,69	0,4	0,69	0,4	0,4	0,23	0,4	0,23	0,4
$u_k, \%$	5,5	4,5	5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	4,5	5
$p_k, кВт$	7,6	5,5	2,65	2,65	3,7	0,6	1,28	0,88	1,97	1,97
$P_0, кВт$	1,31	0,95	0,51	0,51	0,74	0,13	0,24	0,175	0,33	0,33
$\cos\varphi_2$	0,8	0,85	0,8	0,9	0,9	1,0	0,85	0,8	1,0	0,9
$P_2, кВт$	400	250	100	72	150	20	40	16	75	45
$w_l, витков$	750	1300	900	900	1025	1185	1000	600	1200	1200

Методические рекомендации к решению задачи

- 1) Определить номинальные токи в трансформаторе по формуле 1.13, с.25, (1).
- 2) Определить ток во вторичной обмотке трансформатора при заданной нагрузке:

$$I_2 = \frac{P_2}{\sqrt{3}U_{2ном}\cos\varphi_2}$$

- 3) Определить коэффициент нагрузки по формуле 1.71 с. 52, (1).
- 4) Определить ток в первичной обмотке при заданной нагрузке

$$I_1 = \beta I_{1ном}$$

- 5) Определить КПД трансформатора при заданной нагрузке по формуле 1.79 с. 56, (1).
- 6) Максимальный КПД соответствует следующему значению коэффициента нагрузки по формуле 1.80 с. 56, (1).
- 7) Определим напряжение на зажимах вторичной обмотки при заданной нагрузке, а также при коэффициентах нагрузки $\beta = 0,25; 0,5; 0,75; 1$.

Процентное изменение напряжения на вторичной обмотке

$$\Delta U_2\% = \beta(U_a \cos\varphi_2 \pm U_p \sin\varphi_2)$$

составляющие короткого замыкания

$$U_a = \frac{P_k}{S_{ном}} \cdot 100\%$$

$$U_p = \sqrt{U_k^2 \pm U_a^2}$$

знак «+» соответствует индуктивной нагрузке, знак «-» соответствует емкостной нагрузке. Результаты расчета рекомендуется свести в таблицу 2.1

Таблица 2.1 – результаты расчета внешней характеристики

Коэффициент нагрузки, β	изменение напряжения $\Delta U_2\%$	
	при индуктивной нагрузке	при емкостной нагрузке
номинальный		
0,25		

0,5		
0,75		
1		

8) Строим внешнюю характеристику трансформатора.

Контрольные вопросы

- 1) Что называется внешней характеристикой трансформатора?
- 2) Что называется коэффициентом нагрузки?
- 3) От чего зависит изменение напряжения на вторичной обмотке трансформатора?
- 4) Когда трансформатор работает с максимальным КПД и как определить для этого состояния коэффициент нагрузки?
- 5) Почему трансформатор имеет жесткую внешнюю характеристику?
- 6) Какие при нагрузке трансформатора потери считаются постоянными и какие переменными и почему?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Решение задачи с пояснениями.
- 3) Сетевой график и краткое описание построения (рисунок 1.3).
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА

Цель: Углубление теоретических знаний и приобретение практических навыков расчета параметров трехфазных трансформаторов.

Студент должен *знать*:

- устройство и параметры трехфазных трансформаторов;

уметь:

- производить расчет основных параметров трехфазных трансформаторов.

Справочный материал

Для передачи энергии не применяют однофазный переменный ток. Для этих целей получил широкое распространение трехфазный ток. Поэтому большинство трансформаторов являются трехфазными.

Можно трансформировать трехфазный ток, пользуясь тремя однофазными трансформаторами, первичные и вторичные обмотки которых соединены в трехфазную систему - в звезду или треугольник.

Магнитопровод трехфазного трансформатора состоит из трех стержней, замыкаемых сверху и снизу ярами (рисунок 3.1). На каждый из стержней насаживают по одной первичной и вторичной обмотке. Первичные обмотки соединяют в звезду или треугольник, так же соединяют и вторичные обмотки. Стержень с обмотками представляет собой однофазный трансформатор. Поэтому все, что было сказано ранее об однофазном трансформаторе, целиком относится и к отдельной фазе трехфазного.

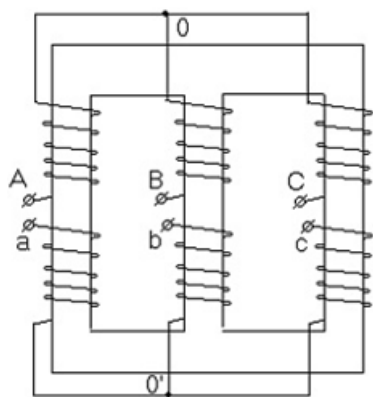


Рисунок 3.1 - Схема трехфазного трехстержневого трансформатора

В каждом стержне трехфазного трансформатора возникает магнитный поток, созданный током первичной обмотки. Но каждая первичная обмотка принадлежит одной из фаз трехфазной системы. Поэтому протекающие по обмоткам токи, так же как и приложенные напряжения, являются трехфазными, следовательно, магнитные потоки тоже трехфазные.

Номинальные данные трехфазных трансформаторов указываются в паспорте и на специальном щитке трансформатора. К ним относятся

- номинальная полная мощность $S_{\text{ном}}$, КВА,
- номинальное линейное напряжение $U_{\text{л.ном}}$, В или кВ,
- номинальный линейный ток $I_{\text{л.ном}}$, А,
- номинальная частота f , Гц,
- число фаз,
- схема и группа соединения обмоток,
- напряжение короткого замыкания $U_{\text{к}}$, %,
- режим работы,
- способ охлаждения.

Полная мощность трех фаз трансформатора:

$$S_{\text{ном}} = \sqrt{3}U_{\text{л.ном}} I_{\text{л.ном}} = \sqrt{3}U_{\text{2ном}} I_{\text{2ном}} \quad (3.1)$$

Ход работы

- 5) Прочитать Справочный материал .
- 6) Выписать данные для своего варианта.
- 7) Решить задачу.
- 8) Ответить на контрольные вопросы.

Задача

Трехфазный трансформатор, тип которого и номинальное напряжение обмоток в таблице вариантов, работает в номинальном режиме.

Определить следующие величины:

- 1) Номинальные токи в обмотках;
- 2) Суммарные потери мощности в трансформаторе;

3) КПД трансформатора при работе с коэффициентом мощности $\cos\varphi_2$.

Как изменятся токи в обмотках, если трансформатор будет работать с коэффициентом нагрузки $k_H = 0,9$?

Таблица 3.1 – Исходные данные к задаче

Вариант	Тип трансформатора	$S_{ном}$ кВА	$U_{ном1}$ кВ	$U_{ном2}$ кВ	$P_{ст}$ кВт	$P_{0,ном}$ кВт	U_k %	$I_{1х}$ %	$\cos\varphi_2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ТМ-1600/10	1600	10	0,69	3,3	18	5,5	2,6	0,85
2	ТМ-1600/10	1600	10	0,23	3,3	18	5,5	2,6	0,88
3	ТМ-1600/10	1600	10	0,4	3,3	18	5,5	2,6	0,86
4	ТМ-1600/10	1600	6	0,4	3,3	18	5,5	2,6	0,84
5	ТМ-630/10	630	10	0,4	1,81	7,6	5,5	2	0,92
6	ТМ-630/10	630	10	0,23	1,81	7,6	5,5	2	0,85
7	ТМ-630/10	630	10	0,69	1,81	7,6	5,5	2	0,88
8	ТМ-630/10	630	6	0,4	1,81	7,6	5,5	2	0,86
9	ТМ-160/10	160	10	0,4	0,51	3,1	4,7	2,4	0,75
10	ТМ-160/10	160	10	0,69	0,51	3,1	4,7	2,4	0,82
11	ТМ-160/10	160	10	0,23	0,51	3,1	4,7	2,4	0,80
12	ТМ-160/10	160	6	0,4	0,51	3,1	4,7	2,4	0,78
13	ТМ-1000/10	1000	10	0,4	2,45	12,2	5,5	2,8	0,82
14	ТМ-1000/10	1000	10	0,23	2,45	12,2	5,5	2,8	0,80
15	ТМ-1000/10	1000	10	0,69	2,45	12,2	5,5	2,8	0,86
16	ТМ-1000/10	1000	6	0,4	2,45	12,2	5,5	2,8	0,84
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	ТМ-250/10	250	10	0,4	0,74	4,2	4,7	2,3	1
18	ТМ-250/10	250	10	0,69	0,74	4,2	4,7	2,3	0,88
19	ТМ-250/10	250	10	0,23	0,74	4,2	4,7	2,3	0,84
20	ТМ-250/10	250	6	0,23	0,74	4,2	4,7	2,3	0,86
21	ТМ-400/10	400	10	0,23	0,95	5,5	4,5	2,1	0,78
22	ТМ-400/10	400	10	0,4	0,95	5,5	4,5	2,1	0,87
23	ТМ-400/10	400	10	0,69	0,95	5,5	4,5	2,1	0,80
24	ТМ-400/10	400	6	0,69	0,95	5,5	4,5	2,1	0,88
25	ТМ-2500/10	2500	10	0,4	4,3	24	5,5	1	0,80
26	ТМ-2500/10	2500	10	0,69	4,3	24	5,5	1	0,84
27	ТМ-100/10	100	10	0,23	0,33	2,27	6,8	2,6	0,82
28	ТМ-100/10	100	10	0,4	0,33	2,27	6,8	2,6	0,86
29	ТМ-25/10	25	6	0,4	0,135	0,6	4,5	3,2	0,88
30	ТМ-25/10	25	10	0,4	0,135	0,6	4,5	3,2	0,82

Контрольные вопросы

- 1) Выведите выражения для действующих ЭДС, наводимых в первичной и вторичной обмотках трансформатора основным магнитным потоком.

- 2) Напишите общее выражение для КПД трансформатора с учетом относительного значения вторичного тока (с учетом коэффициента нагрузки).
- 3) Как осуществляется трансформирование трехфазной цепи?
- 4) Почему сердечник трансформаторов выполняется из ферромагнитных материалов?
- 5) Как изменится отношение линейных напряжений трехфазного трансформатора, если его обмотки переключить со схемы Δ/Y на Y/Δ ?
- 6) Каково назначение трансформаторного масла?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Решение задачи с пояснениями.
- 3) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.

Цель: Пробрести навыки расчета параметров трехфазных асинхронных электродвигателей переменного тока.

Студент должен *знать*:

- технические параметры трехфазных асинхронных электродвигателей переменного тока;

уметь:

- рассчитывать основные параметры трехфазных асинхронных электродвигателей переменного тока.

Справочный материал

Частота вращения магнитного поля статора *из*зависит от числа пар полюсов двигателя p , на которое сконструирована обмотка статора, и от частоты тока трехфазной системы f :

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (4.1)$$

Частота тока в цепи (промышленная частота) $f = 50$ Гц, тогда формула (4.1) примет вид

$$n_1 = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p} \quad (4.2)$$

Частота вращения n_2 связана с частотой вращения n_1 характеристикой двигателя, которая называется скольжением s :

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (4.3)$$

откуда

$$n_2 = n_1(1 - s) \quad (4.4)$$

скольжение s изменяется от 0,01 до 0,06 или от 1 до 6 %, возрастая с увеличением нагрузки двигателя. Поэтому частота вращения ротора n_1 , всегда меньше частоты вращения магнитного поля статора двигателя n_2 . С ростом нагрузки двигателя частота вращения n_2 немного уменьшается, что приводит к росту скольжения s . Из-за такого неравенства $n_2 < n_1$ двигатель называется асинхронным.

В таблице 4.1 приведены значения n_1 соответствующие числам пар полюсов p , определяемым конструкцией обмотки статора.

Момент вращения M , измеряемый в Н·м, определяется по формуле

$$M = 9550 \frac{P_{\text{ном2}}}{n_{\text{ном2}}} \quad (4.5)$$

где P_2 , кВт - полезная мощность на валу двигателя;

n_2 , об/мин - частота вращения ротора.

Полезная мощность на валу двигателя

$$P_{\text{ном2}} = \sqrt{3} U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \varphi \eta \quad (4.6)$$

где $U_{\text{л}}$, $I_{\text{л}}$ - линейные значения напряжения и тока;

η - КПД двигателя;

$\cos \varphi$ - коэффициент мощности двигателя.

Из формулы (4/6) получаем

$$I_{\text{л}} = \frac{P_{\text{ном2}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \cos \varphi \eta} \quad (4.7)$$

КПД двигателя

$$\eta = P_2 / P_1 \quad (4.8)$$

откуда

$$P_1 = \frac{P_{\text{ном2}}}{\eta} \quad (4.9)$$

Таблица 4.1 - значения n_1 соответствующие числам пар полюсов p

p	1	2	3	4	5	6
n_1 , об/мин	3000	1500	1000	750	600	500

Ход работы

Задание содержит задачу на расчет трехфазного асинхронного двигателя. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

- 1) Произвести расчеты для задачи. Расчеты сопровождайте пояснениями.
- 2) Подготовить ответы на контрольные вопросы.
- 3) Оформить отчет по практической работе.

Задача

Трехфазный асинхронный двигатель работает в номинальном режиме и подключен к электрической сети с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 380$ В. Известны число полюсов двигателей и некоторые данные режима работы: номинальная мощность $P_{2\text{ном}}$, скольжение $s_{\text{ном}}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{ном}}$, коэффициент полезного действия $\eta_{\text{ном}}$. Частота сети $f = 50$ Гц.

Определить: частоту вращения магнитного поля статора n_1 и частоту вращения ротора $n_{2\text{ном}}$; ток двигателя $I_{1\text{ном}}$; номинальный момент вращения $M_{\text{ном}}$; активную мощность, потребляемую двигателем из сети, $P_{1\text{ном}}$. Данные для своего варианта взять из таблицы 4.2.

Таблица 4.2 – Исходные данные к задаче

№ варианта	Число полюсов двигателя $2p$	$P_{2\text{ном}}$, кВт	$s_{\text{ном}}$, %	$\cos\varphi_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$
1	6	45	4,4	0,89	0,92
2	6	75	4,4	0,88	0,93
3	6	37	4,4	0,87	0,94
4	6	55	4,4	0,89	0,93
5	6	20	4,4	0,88	0,93
6	6	30	4,4	0,89	0,94
7	6	75	4,4	0,90	0,95
8	6	35	4,4	0,91	0,93
9	6	55	4,4	0,88	0,93
10	8	37	2,0	0,84	0,90
11	8	45	2,0	0,85	0,91
12	8	110	2,0	0,85	0,90
13	10	20	1,5	0,92	0,80
14	10	75	3,5	0,89	0,92
15	10	45	2,5	0,92	0,94
16	10	75	1,5	0,89	0,92
17	10	20	2,5	0,80	0,93
18	10	30	1,2	0,88	0,94

19	10	37	2,5	0,91	0,95
20	10	55	1,5	0,93	0,94

Методические указания к решению задачи

- 1) Определите в соответствии с числом пар полюсов двигателя p синхронную частоту n_1 . Воспользуйтесь данными таблицы 2.1.
- 2) По известным скольжению $s_{\text{ном}}$ и частоте вращения магнитного поля статора n_1
- 3) рассчитайте номинальную частоту вращения ротора $n_{2\text{ном}}$. Формула (4).
- 4) По формуле (7) рассчитайте номинальный ток $I_{1\text{ном}}$, потребляемый двигателем из сети.
- 5) По формуле (9) рассчитайте активную мощность, потребляемую двигателем из сети, $P_{1\text{ном}}$.
- 6) По формуле (5) рассчитайте номинальный момент $M_{\text{ном}}$, развиваемый двигателем при работе.

Контрольные вопросы

- 1) Объясните устройство и принцип действия асинхронного электродвигателя.
- 2) Каково соотношение между частотами вращающегося магнитного поля статора n_1 и ротора $n_{2\text{ном}}$?
- 3) Объясните, что называется скольжением асинхронного двигателя и как оно изменяется с увеличением тормозного момента.
- 4) Как можно рассчитать КПД асинхронного двигателя? Какие виды потерь существуют при работе асинхронного двигателя?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Решение задачи с пояснениями.
- 3) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

Тема: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА.

Цель: Пробрести навыки расчета основных параметров трехфазных синхронных генераторов переменного тока.

Студент должен *знать*:

- технические параметры трехфазных синхронных генераторов переменного тока;

уметь:

- рассчитывать основные параметры трехфазных синхронных генераторов переменного тока.

Справочный материал

Характерным признаком синхронных машин является жесткая связь между частотой вращения ротора n_1 и частотой переменного тока в обмотке статора f_1 :

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p} \quad (5.1)$$

Другими словами, вращающееся магнитное поле статора и ротор синхронной машины вращаются *синхронно*, т. е. с одинаковой частотой.

По своей конструкции синхронные машины разделяются на явнополюсные и неявнополюсные. В явнополюсных синхронных машинах ротор имеет явно выраженные полюса, на которых располагают катушки обмотки возбуждения, питаемые постоянным током. Характерным признаком таких машин является различие магнитного сопротивления по продольной оси (по оси полюсов) и по поперечной оси (по оси, проходящей в межполюсном пространстве). Магнитное сопротивление потоку статора по продольной оси dd намного меньше магнитного сопротивления потоку статора по поперечной оси qq . В неявнополюсных синхронных машинах магнитные сопротивления по продольной и поперечной осям одинаковы, поскольку воздушный зазор у этих машин по периметру статора одинаков.

Конструкция статора синхронной машины в принципе не отличается от статора асинхронной машины. В обмотке статора в процессе работы машины индуцируются ЭДС и протекают токи, которые создают магнитодвижущую силу (МДС), максимальное значение которой

$$F_1 = \frac{0.45 m_1 I_1 w_1 k_{o\delta 1}}{p} \quad (5.2)$$

Эта МДС создает вращающееся магнитное поле, а в воздушном зазоре δ машины создается магнитная индукция, график распределения которой в пределах каждого полюсного деления τ зависит от конструкции ротора.

Энергетические характеристики в синхронной машине зависят от режима ее работы. Если машина работает в режиме генератора, то подводимая к генератору механическая мощность определяется вращающим моментом приводного двигателя M_1 и частотой вращения n_1

$$P_1 = 0,105 M_1 n_1 \quad (5.3)$$

Часть этой мощности расходуется на покрытие механических $P_{\text{мех}}$, магнитных $P_{\text{м}}$ и добавочных $P_{\text{д}}$ потерь. Если возбуждение генератора происходит от возбудителя, приводимого во вращение от общего приводного двигателя, то к перечисленным потерям добавляются еще и потери на возбуждение

$$P_{\epsilon} = \frac{U_{\epsilon} I_{\epsilon}}{\eta_{\epsilon}} \quad (5.4)$$

где U_{ϵ} и I_{ϵ} - напряжение и ток в цепи возбуждения;

η_{ϵ} - КПД возбуждателя.

Оставшаяся после вычитания перечисленных потерь мощность, представляет собой электромагнитную мощность генератора $P_{эм}$, которая передается на статор генератора электромагнитным путем. Полезная мощность на выходе генератора P_2 меньше электромагнитной мощности на величину электрических потерь в обмотке статора

$$P_{\epsilon 1} = m_1 I_1^2 r_1 \quad (5.5)$$

Суммарные потери синхронного генератора

$$\Sigma P = P_{\text{мех}} + P_{\text{м}} + P_{\text{в}} + P_{\text{доб}} + P_{\epsilon 1} \quad (5.6)$$

Полезная мощность генератора

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (5.7)$$

где $S_2 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1$ - полная мощность на выходе генератора, ВА;

$\cos \varphi_1$ - коэффициент мощности в цепи нагрузки генератора.

Если синхронная машина работает в режиме двигателя, то виды потерь остаются прежними, но электрическая мощность на входе двигателя

$$P_1 = S_1 \cos \varphi_1 = m_1 U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (5.8)$$

а мощность на выходе двигателя является механической

$$P_2 = 0,105 M_2 n_1 \quad (5.9)$$

Коэффициент полезного действия синхронной машины

$$\eta = P_2 / P_1 \quad (5.10)$$

Ход работы

Задание содержит задачу на расчет трехфазного синхронного генератора. Для каждого варианта необходимо выполнить следующее:

- 1) Произвести расчеты для задачи. Расчеты сопровождайте пояснениями.
- 2) Подготовить ответы на контрольные вопросы.

3) Оформить отчет по практической работе.

Задача

Параметры трехфазного синхронного генератора: номинальное (линейное) напряжение на выходе $U_{1\text{ном}}$ при частоте тока 50 Гц, обмотка статора соединена «звездой», номинальный ток статора $I_{1\text{ном}}$, КПД генератора при номинальной нагрузке $\eta_{\text{ном}}$, число полюсов $2p$, мощность на входе генератора $P_{1\text{ном}}$, полезная мощность на выходе генератора $P_{2\text{ном}}$, суммарные потери в режиме номинальной нагрузки $\Sigma P_{\text{ном}}$, полная номинальная мощность на выходе $S_{2\text{ном}}$, коэффициент мощности нагрузки, подключенной к генератору, $\cos\varphi_{1\text{ном}}$, вращающий момент первичного двигателя при номинальной нагрузке генератора $M_{1\text{ном}}$. Требуется определить параметры, значения которых в таблице 5.1 не указаны.

Таблица 5.1 – Параметры трехфазного синхронного генератора

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{\text{ном}}$, кВа	330	-	270	470	-	600	780	450	700	500
$U_{1\text{ном}}$, В	6,3	3,2	0,4	-	0,7	3,2	6,3	0,4	-	3,2
$\eta_{\text{ном}}$, %	92	-	-	91	90	93	-	-	93	92
$2p$	6	8	-	6	10	12	6	-	6	10
$P_{2\text{ном}}$, кВт	-	-	206	-	-	-	667,4	369,5	-	-
$\Sigma P_{\text{ном}}$, кВт	-	27	18	-	-	-	-	-	-	-
$\cos\varphi_{1\text{ном}}$	0,9	-	0,85	0,9	-	0,92	-	0,9	0,92	0,85
$I_{1\text{ном}}$, А	-	72,2	-	43,1	190	-	-	-	64,2	-
$P_{1\text{ном}}$, кВт	-	340	-	-	190	-	717,6	-	-	-
$M_{1\text{ном}}$, Нм	-	-	-	-	-	-	-	7735	-	-

Контрольные вопросы

- 1) Что является характерным признаком синхронных машин?
- 2) Перечислите способы возбуждения синхронной машины.
- 3) Чем отличается синхронная машина от асинхронной?
- 4) Как различаются синхронные машины по конструкции якоря?
- 5) Какие виды потерь имеют место в синхронной машине?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Решение задачи с пояснениями.
- 3) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

Тема: ОЦЕНКА НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель: Научиться производить расчет основных параметров трехфазного синхронного двигателя.

Студент должен *знать*:

- технические параметры трехфазного синхронного двигателя;

уметь:

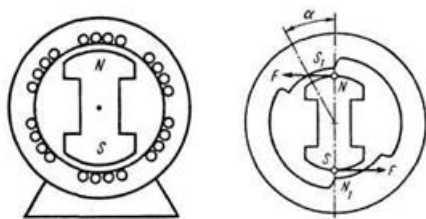
- решать задачи по расчету основных параметров трехфазного синхронного двигателя.

Справочный материал

Устройство статора синхронного двигателя аналогично устройству статора асинхронного двигателя. Ротор синхронного двигателя представляет собой электромагнит или постоянный магнит (рисунок 6.1, а).

Принцип работы синхронного двигателя поясняется рисунок 6.1, б. Внутри магнита N_1S_1 помещен магнит NS . Если магнит N_1S_1 вращать, то он потянет за собой магнит NS . В стационарном режиме частоты вращения обоих магнитов одинаковы.

К валу магнита NS можно приложить механическую нагрузку. Чем больше эта нагрузка, тем больше угол отставания оси магнита NS от оси магнита N_1S_1 . При некоторой нагрузке силы притяжения между магнитами будут преодолены и ротор остановится.



аб

Рисунок 6.1 – Схематическое изображение и принцип работы синхронного двигателя

В реальном двигателе поле магнита N_1S_1 заменено вращающимся магнитным полем статора; при этом ротор либо вращается синхронно с магнитным полем статора, отставая на угол α , либо останавливается (выпадает из синхронизма) при перегрузке. Таким образом, независимо от нагрузки ротор всегда вращается с постоянной частотой, равной частоте вращения магнитного поля статора:

$$n_2 = n_1 = 60f/p(6.1)$$

Постоянство частоты вращения - важное достоинство синхронного двигателя. Недостаток синхронного двигателя - трудность пуска: для пуска нужно раскрутить ротор в сторону вращения поля статора. Для этого чаще всего применяют специальную короткозамкнутую обмотку, встроенную в ротор. В момент пуска двигатель работает как асинхронный. Когда частота вращения ротора приближается к частоте вращения поля статора, ротор входит в синхронизм и двигатель работает как синхронный. Короткозамкнутая обмотка при этом оказывается обесточенной, так как частота вращения ротора равна частоте вращения поля статора и стержни обмотки ротора не пересекаются магнитными силовыми линиями.

Ход работы

- 1) Произвести расчеты для задачи. Расчеты сопровождайте пояснениями.
- 2) Подготовить ответы на контрольные вопросы.
- 3) Оформить отчет по практической работе.

Задача

Трехфазный синхронный двигатель серии СДН2 имеет данные каталога: номинальная мощность $P_{\text{ном}}$, число полюсов $2p$, КПД $\eta_{\text{ном}}$; кратности - пускового тока $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$, пускового момента $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$, максимального синхронного момента $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$, асинхронного момента при скольжении $s = 5\%$ (момент входа в синхронизм) $M_{5\%}/M_{\text{ном}}$; соединение обмоток статора «звездой». Значения перечисленных величин приведены в таблице 6.1.

Определить: частоту вращения, номинальный и пусковой токи: цепи статора, номинальный, максимальный синхронный, пусковой моменты и асинхронный момент входа в синхронизм (при $s = 5\%$). Напряжение питающей сети $U_{\text{с}} = 10 \text{ кВ}$ при частоте 50 Гц, коэффициент мощности $\cos\varphi_1 = 0,8$.

Таблица 6.1 – Исходные данные к задаче 1

Вариант	Тип двигателя	$P_{\text{ном}}$ кВт	$2p$	$\eta_{\text{ном}}$ %	$M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$	$M_{5\%}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$	$I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$
1	16-36-12	500	12	93,7	1,9	1,3	1,0	5,2
2	16-44-12	630	12	94,2	1,9	1,3	1,0	5,1
3	17-31-12	800	12	94,3	1,9	1,1	1,0	4,7
4	17-39-12	1000	12	94,9	1,8	1,0	1,0	4,5
5	17-49-12	1250	12	95,3	1,9	1,2	1,1	5,2
6	18-64-12	2500	12	96,2	1,8	1,4	1,2	6,5
7	16-36-10	630	10	94,4	1,8	1,4	0,75	5,0
8	16-44-10	800	10	94,9	1,8	1,3	0,75	5,0
9	17-44-10	1250	10	95,5	1,9	1,2	1,1	5,4
10	17-51-10	1600	10	95,9	1,8	1,2	1,0	5,2

Контрольные вопросы

- 1) Чем отличается синхронный двигатель от асинхронного двигателя?

- 2) С какой целью на роторе синхронного двигателя иногда размещают дополнительную короткозамкнутую обмотку?
- 3) Чем ограничивается область устойчивой работы синхронного двигателя?
- 4) Как регулируется коэффициент мощности синхронного двигателя?
- 5) Что называют моментом входа двигателя в синхронизм?

Содержание отчета

- 1) Номер, название и цель работы.
- 2) Решение задачи с пояснениями.
- 3) Ответы к решению задачи.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

Тема: ВЫБОР МОЩНОСТИ ЗАВОДСКОЙ ПОДСТАНЦИИ

Цель: Научиться производить расчет основных параметров генератора постоянного тока независимого возбуждения.

Студент должен *знать*:

- технические параметры генератора постоянного тока независимого возбуждения;

уметь:

- решать задачи по расчету основных параметров генератора постоянного тока независимого возбуждения.

Справочный материал

В зависимости от схемы включения обмотки возбуждения различают генераторы параллельного, последовательного, смешанного и независимого возбуждения.

В генераторе постоянного тока с независимым возбуждением обмотка возбуждения не связана электрически с якорной обмоткой. Она питается постоянным током от внешнего источника электрической энергии, например от аккумуляторной батареи; мощные генераторы имеют на общем валу небольшой генератор-возбудитель. Ток возбуждения I_v не зависит от тока якоря I_a , который равен току нагрузки I_n . Обычно ток возбуждения невелик и составляет 1...3 % от номинального тока якоря. Последовательно с обмоткой возбуждения подключен регулировочный реостат (реостат возбуждения). Он изменяет величину тока возбуждения I_v , тем самым регулируется электродвижущая сила E .

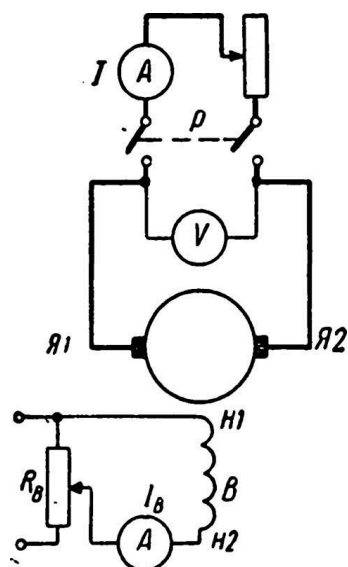


Рисунок 7.1 – Схема генератора постоянного тока независимого возбуждения

Для генератора независимого возбуждения, схема которого показана на рисунке 7.1, ЭДС

$$E = U + r_{\text{я}} I_{\text{я}} \quad (7.1)$$

При номинальном режиме

$$I_{\text{я}} = I_{\text{н}} \quad U = U_{\text{н}} \quad (7.2)$$

КПД генератора равен отношению мощности отдаваемой к мощности потребляемой

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \quad (7.3)$$

где ΣP - суммарные потери мощности генератора;

P_1 - мощность, передаваемая генератору от привода;

P_2 - полезная мощность генератора, отдаваемая в сеть нагрузки.

К потерям мощности генератора относят электрические потери в обмотках якоря $P_{\text{а}}$ и возбуждения $P_{\text{в}}$, механические потери и потери в стали. Электромагнитная мощность генератора

$$P_{\text{эм}} = I_{\text{я}} E \quad (8.4)$$

Ход работы

- 1) Изобразите схему генератора постоянного тока независимого возбуждения (Рисунок 7.1) и запишите данные для своего варианта (Таблица 7.1).
- 2) При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
- 3) Рассчитайте величины в соответствии с заданием.

- 4) Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями §28.1, §28.2, (1). Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
- 5) При расчете параметров генератора применяйте законы Кирхгофа, Ома, свойства последовательного и параллельного соединения элементов цепи, используя схему включения генератора (рисунок 7.1).
- 6) Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
- 7) Оформите отчет по практической работе.

Задача

Генератор постоянного тока с независимым возбуждением используется для питания цепей автоматики станка с программным управлением, которые требуют постоянного напряжения. Генератор работает в номинальном режиме и отдает полезную мощность $P_{\text{ном2}}$ при напряжении на зажимах $U_{\text{ном}}$, развивая ЭДС E . Мощность первичного двигателя, вращающего генератор, равна P_1 . Генератор отдает во внешнюю цепь ток нагрузки, равный току якоря $I_{\text{ном}} = I_{\text{я}}$; ток в обмотке возбуждения $I_{\text{в}}$. Сопротивление нагрузки равно $R_{\text{н}}$. Сопротивление обмотки якоря $R_{\text{а}}$, обмотки возбуждения $R_{\text{в}}$. Напряжение на обмотке возбуждения $U_{\text{в}}$. КПД генератора равен $\eta_{\text{ном}}$. Электрические потери в обмотке якоря $P_{\text{а}}$, в обмотке возбуждения $P_{\text{в}}$. Суммарные потери в генераторе равны ΣP . Схема генератора приведена на рисунке 7.1. Используя данные, приведенные в таблице 7.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 7.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{\text{ном2}}$, кВт	32	-	230	-	-	-	-	110	19	99
$U_{\text{ном}}$, В	230	460	-	230	230	230	230	-	115	-
E , В	-	-	243	-	233,6	-	-	-	-	-
P_1 , кВт	-	110	-	40	-	-	-	-	23	-
$I_{\text{ном}}$, А	-	-	-	-	139	826	1000	478	-	-
$R_{\text{н}}$, Ом	-	-	0,23	-	-	-	-	-	-	2,14
$R_{\text{а}}$, Ом	0,026	0,054	-	0,07	-	0,006	0,013	-	0,13	-
$R_{\text{в}}$, Ом	46	-	-	100	-	18,5	11,5	44,5	110	46
$U_{\text{в}}$, В	115	230	115	-	115	230	115	230	-	230
$\eta_{\text{ном}}$	0,87	0,90	-	-	-	-	0,90	0,90	-	-
$P_{\text{а}}$, Вт	-	-	-	-	-	-	-	1140	-	2500
$P_{\text{в}}$, Вт	-	1150	1150	132	287	-	-	-	110	-
ΣP , кВт	-	-	24	5	4,8	15	-	-	-	11
$I_{\text{в}}$, А	-	1,15	1,0	2,3	1,15	-	-	-	1,0	-

Контрольные вопросы

- 1) Перечислите способы возбуждения генераторов постоянного тока.
- 2) От чего зависит величина ЭДС, индуцируемой в генераторе постоянного тока?
- 3) От чего зависит напряжение на зажимах генератора?
- 4) Как определить ток нагрузки генератора постоянного тока независимого возбуждения?
- 5) Чем определяются потери энергии генератора постоянного тока?
- 6) Как зависят от нагрузки генератора механические потери, потери в стали, потери в меди, потери в щеточном контакте?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Данные своего варианта и схема генератора постоянного тока независимого возбуждения.
- 3) Решение задачи с пояснениями.
- 4) Ответы к решению задачи.
- 5) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

Тема: ВЫБОР ШИН И ОШИНОВКИ НА ПОДСТАНЦИЯХ

Цель: Научиться производить расчет основных параметров генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

Студент должен *знать*:

- технические параметры генератора постоянного тока параллельного возбуждения;

уметь:

- решать задачи по расчету основных параметров генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

Справочный материал

В генераторе с параллельным возбуждением обмотка возбуждения присоединена через регулировочный реостат параллельно обмотке якоря. Для нормальной работы потребителей электроэнергии необходимо поддерживать постоянство напряжения на зажимах генератора, несмотря на изменение общей нагрузки. Это осуществляется посредством регулирования тока возбуждения.

Реостаты возбуждения имеют, как правило, *холостые контакты*, при помощи которых можно осуществить короткое замыкание обмотки возбуждения «на себя». Это необходимо при отключении обмотки возбуждения. Если выключить обмотку возбуждения путём разрыва её цепи, то исчезающее магнитное поле создаст очень большую ЭДС самоиндукции, способную пробить изоляцию обмотки и вывести генератор из строя. При коротком замыкании обмотки возбуждения при её отключении энергия исчезающего магнитного поля переходит в тепло, не причиняя вреда обмотке

возбуждения, так как ЭДС самоиндукции не превысит номинального напряжения на зажимах генератора.

Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением сам питает свою обмотку возбуждения и не нуждается в постороннем источнике электрической энергии. Самовозбуждение генератора возможно только при наличии остаточного магнетизма в сердечниках электромагнитов, поэтому они изготавливаются из литой стали и после прекращения работы генератора сохраняется остаточный магнетизм. Так как обмотка возбуждения подключена к его зажимам, то в ней при вращении якоря в его обмотке потоком остаточного магнетизма индуцируется ЭДС $E_{ост}$, и по обмотке возбуждения начинает протекать ток. Если обмотка возбуждения включена правильно, так, что её магнитный поток Φ направлен «попутно» с магнитным потоком остаточного магнетизма, то суммарный магнитный поток возрастает, увеличивая ЭДС E , магнитный поток Φ и ток возбуждения I_v . Машина самовозбуждается и начинает устойчиво работать с $I_v = \text{const}$. $E = \text{const}$, зависящими от величины сопротивления $R = \text{const}$ цепи возбуждения.

Однако процесс нарастания электродвижущей силы E генератора (процесс самовозбуждения генератора) не прогрессирует, то есть ЭДС генератора не возрастает неограниченно. Всякий раз рост индуцированной ЭДС генератора ограничен тем или иным пределом. Для этого необходимо рассмотреть характеристику холостого хода генератора.

Для генератора параллельного возбуждения, схема которого показана на рисунке 8.1, ЭДС

$$E = U + r_{\text{я}} I_{\text{я}} \quad (8.1)$$

Для генератора параллельного возбуждения

$$I_{\text{я}} = I_{\text{н}} + I_v \quad (8.2)$$

КПД генератора равен отношению мощности отдаваемой к мощности потребляемой

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \quad (8.3)$$

где ΣP - суммарные потери мощности генератора;

P_1 - мощность, передаваемая генератору от привода;

P_2 - полезная мощность генератора, отдаваемая в сеть нагрузки.

К потерям мощности генератора относят электрические потери в обмотках якоря P_a и возбуждения P_v , механические потери и потери в стали. Электромагнитная мощность генератора

$$P_{\text{эм}} = I_{\text{я}} E \quad (9.4)$$

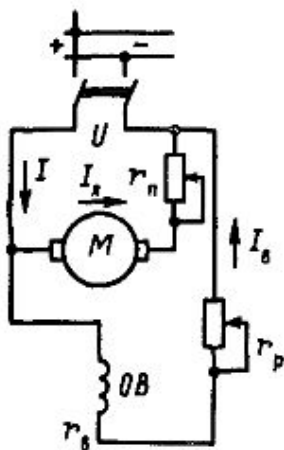


Рисунок 8.1– Схема генератора постоянного тока параллельного возбуждения

Ход работы

- 1) Изобразите схему генератора постоянного тока параллельного возбуждения и запишите данные для своего варианта (Таблица 8.1).
- 2) При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
- 3) Рассчитайте величины в соответствии с заданием.
- 4) Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями §28.1, §28.3, (1). Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
- 5) При расчете параметров генератора применяйте законы Кирхгофа, Ома, свойства последовательного и параллельного соединения элементов цепи, используя схему включения генератора постоянного тока параллельного возбуждения (рисунок 8.1).
- 6) Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
- 7) Оформите отчет по практической работе.

Задача

Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением отдает полезную мощность P_2 при номинальном напряжении $U_{ном}$. Сила тока в нагрузке равна $I_{ном}$, ток в цепи якоря I_a , в обмотке возбуждения I_b . Сопротивление цепи якоря равно R_a , обмотки возбуждения R_b . Генератор развивает ЭДС E . Электромагнитная мощность равна $P_{эм}$. Мощность, затрачиваемая на вращение генератора, равна P_1 . Суммарные потери мощности в генераторе составляют ΣP при коэффициенте полезного действия η . Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения соответственно равны P_a и P_b . Схема генератора дана на рисунке 8.1. Используя данные, приведенные в таблице 8.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 8.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ном2}$, кВт	-	20,65	2	11,8	-	-	-	-	-	21,56

$U_{\text{НОМ}}, \text{ В}$	220	-	-	-	220	115	430	-	-	220
$I_{\text{НОМ}}, \text{ А}$	98	48	-	102,6	-	-	-	17,4	-	-
$I_{\text{В}}, \text{ А}$	-	-	2,9	-	-	-	-	-	2	-
$I_{\text{а}}, \text{ А}$	-	-	-	-	100	-	50	20,3	-	-
$R_{\text{а}}, \text{ Ом}$	0,15	0,2	-	-	-	0,07	-	0,25	-	-
$R_{\text{В}}, \text{ Ом}$	110	-	-	-	110	18,9	215	-	-	-
$E, \text{ В}$	-	440	120	-	235	122,6	-	-	-	-
$P_{\text{эм}}, \text{ кВт}$	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-
$P_1, \text{ кВт}$	-	-	2,55	14	25,36	-	-	-	23,45	-
$\Sigma P, \text{ кВт}$	-	2,8	-	-	-	2,2	-	0,55	2,8	-
η_{Γ}	0,85	-	-	-	-	-	0,88	0,78	-	0,85
$P_{\text{а}}, \text{ Вт}$	-	-	-	825	-	-	-	-	500	1500
$P_{\text{В}}, \text{ Вт}$	-	-	-	690	-	-	-	-	860	440

Контрольные вопросы

- 1) Какие характеристики определяют свойства генераторов постоянного тока?
- 2) Каковы условия самовозбуждения генераторов постоянного тока?
- 3) Почему у генератора параллельного возбуждения изменение напряжения при сбросе нагрузки больше, чем у генератора независимого возбуждения?
- 4) Что необходимо сделать для того, чтобы магнитный поток, создаваемый обмоткой возбуждения, направить согласно с остаточным магнитным потоком.
- 5) Почему нельзя получить характеристику короткого замыкания у генератора параллельного возбуждения?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Данные своего варианта и схема генератора постоянного тока параллельного возбуждения.
- 3) Решение задачи с пояснениями.
- 4) Ответы к решению задачи.
- 5) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 9

Тема: ВЫБОР И ПРОВЕРКА ГИБКИХ ШИН, КОМПЛЕКТНЫХ ТОКОПРОВОДОВ, СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ.

Цель: Выбор и проверка гибких шин, комплектных токопроводов, силовых кабелей.

Студент должен *знать*:

- устройство, режимы работы и особенности двигателей постоянного тока параллельного возбуждения;
- технические параметры двигателей постоянного тока параллельного возбуждения.

уметь:

- решать задачи по расчету основных параметров генератора постоянного тока параллельного возбуждения.

Справочный материал

Машина постоянного тока с независимым или параллельным возбуждением, подключенная к сети с постоянным напряжением, может работать как в генераторном, так и в двигательном режиме и переходить из одного режима работы в другой.

Различают три типа двигателей постоянного тока:

- с параллельным возбуждением;
- с последовательным возбуждением;
- со смешанным возбуждением.

В отличие от генераторов, в которых ток якоря образуется за счет остаточного магнитного потока, вызывающего появление остаточной ЭДС, в двигателях ток якоря создается внешним источником и направлен он против ЭДС.

Для двигателя параллельного возбуждения, схема которого приведена на рисунке 9.1, справедливы соотношения:

$$U_n = E_n = r_{\text{я}} I_{\text{я}}, \quad (9.1)$$

где E_n - противо-ЭДС, индуктируемая в обмотке якоря при номинальной скорости вращения.

$$I_n = I_{\text{я}} + I_{\text{в}}, \quad (9.2)$$

Номинальный ток якоря определяется выражением:

$$I_{\text{я}} = (U_n - E_n) / r_{\text{я}} \quad (9.3)$$

В момент пуска $n = 0$, следовательно и $E = 0$, поэтому пусковой ток якоря будет чрезмерно большим. Для его ограничения последовательно с якорем включают пусковой реостат $r_{\text{пуск}}$, тогда

$$I_{\text{я пуск}} = U_n / (r_{\text{я}} + r_{\text{пуск}}) \quad (9.4)$$

Мощность, потребляемая двигателем из сети

$$P_1 = I_n U_n, \quad (9.5)$$

где I_n - номинальный ток двигателя,

U_n - номинальное напряжение сети.

Вращающий электромагнитный момент двигателя при номинальном режиме

$$M_{ном} = 9,55 \frac{P_{ном}}{n_{ном}}, \quad (9.6)$$

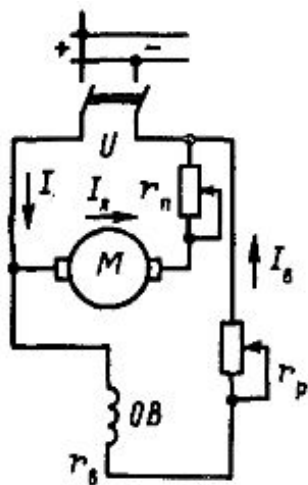


Рисунок 9.1 – Схема двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Ход работы

- 1) Изобразите схему двигателя постоянного тока параллельного возбуждения и запишите данные для своего варианта. При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
- 2) Рассчитайте величины в соответствии с заданием.
- 3) Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
- 4) Используйте свойства последовательного и параллельного соединений элементов электрической цепи, законы Ома и Кирхгофа.
- 5) Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
- 6) Оформите отчет по практической работе.

Задача 1

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением, работая в номинальном режиме, отдает полезную мощность на валу $P_{ном2}$, развивая при этом номинальный момент $M_{ном}$ при частоте вращения $n_{ном}$. Двигатель потребляет из сети номинальный ток $I_{ном}$ при напряжении $U_{ном}$. Ток в обмотке якоря I_a , в обмотке возбуждения I_b . Потребляемая из сети мощность равна P_1 . Суммарные потери мощности в двигателе составляют ΣP , коэффициент полезного действия $\eta_{дв}$. Схема двигателя приведена на рисунке 9.1. Используя данные, приведенные в таблице 9.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 9.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ном2}$, кВт	22	-	11	30	12	-	-	-	30	3,6

$M_{\text{НОМ}}$ Нм	-	28,56	-	191	-	213	200	78,4	-	-
$n_{\text{НОМ}}$, об/мин	985	-	1340	-	750	-	1433	-	1433	1200
$I_{\text{НОМ}}$, А	113,6	-	-	79,5	-	-	159	56,8	-	18,8
$U_{\text{НОМ}}$, В	-	220	220	-	220	220	-	-	220	-
I_a , А	-	18	-	-	-	108	-	55,7	150	-
I_b , А	5,6	-	1,1	2,5	1,5	-	9,0	-	-	0,8
P_1 , кВт	25,0	4,14	12,5	35,0	-	-	34,9	-	-	-
ΣP , кВт	-	-	--	-	-	3,0	-	1,5	4,9	0,54
$\eta_{\text{дв}}$	-	0,87	-	-	0,8	0,88	-	0,88	-	-

Контрольные вопросы

- 1) Перечислите способы возбуждения двигателей постоянного тока.
- 2) Что относится к пусковым свойствам двигателя постоянного тока? Как их улучшают?
- 3) От чего зависит скорость вращения двигателя постоянного тока?
- 4) Как определить величину вращающего момента электродвигателя?
- 5) Что определяют понятия «кратность пускового тока», «кратность пускового момента»? Как рассчитываются эти величины?
- 6) Как определить мощность потерь двигателя постоянного тока?
- 7) Как рассчитывается КПД двигателя постоянного тока?
- 8) Изобразите энергетическую диаграмму двигателя постоянного тока.

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Данные своего варианта
- 3) Схема двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.
- 4) Решение задачи с пояснениями.
- 5) Ответы к решению задачи.
- 6) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 10

Тема: ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, СХЕМЫ ПОДКЛЮЧЕНИЯ, ПАРАМЕТРОВ РУБИЛЬНИК КОНТАКТОРОВ И МАГНИТНЫХ ПУСКАТЕЛЕЙ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1000 В.

Цель: Изучение конструкции, схемы подключения, параметров рубильник контакторов и магнитных пускателей напряжением до 1000 В.

Студент должен *знать*:

- устройство, режимы работы и особенности двигателей постоянного тока последовательного возбуждения;
- технические параметры двигателей постоянного тока последовательного возбуждения.

уметь:

- решать задачи по расчету основных параметров генератора постоянного тока последовательного возбуждения.

Справочный материал

Схема включения в сеть двигателей постоянного тока последовательного возбуждения показана на рисунке 10.1. Здесь ток якоря является в то же время и током возбуждения, и потому пусковой реостат $R_{\text{пуск}}$ изменяет и ток в якоре, и ток в обмотке возбуждения. При холостом ходе или очень малых нагрузках ток в якоре, как мы знаем, должен быть очень мал, т. е. индуцированная э. д. с. E_i должна быть почти равна напряжению сети. Но при очень малом токе через якорь и обмотку возбуждения слабо и поле обмотки возбуждения. Поэтому при малой нагрузке необходимая э. д. с. может быть получена только за счет очень большой частоты вращения двигателя. Вследствие этого при очень малых токах (малой нагрузке) частота вращения двигателя с последовательным возбуждением становится настолько большой, что это может стать опасным с точки зрения механической прочности двигателя.

Говорят, что двигатель идет «вразнос». Это недопустимо, и поэтому двигатели с последовательным возбуждением нельзя пускать в ход без нагрузки или с малой нагрузкой (меньшей 20...25 % от нормальной мощности двигателя). По этой же причине не рекомендуется соединять эти двигатели со станками или другими машинами ременными или канатными передачами, так как обрыв или случайный сброс ремня приведет к «вразносу» двигателя. Таким образом, в двигателях с последовательным возбуждением при возрастании нагрузки увеличиваются ток в якоре и магнитное поле индуктора; поэтому частота вращения двигателя резко падает, а развиваемый им вращающий момент резко возрастает.

Эти свойства двигателей с последовательным возбуждением делают их наиболее удобными для применения на транспорте (трамваи, троллейбусы, электропоезда) и в подъемных устройствах (кранах), так как в этих случаях необходимо иметь в момент пуска при очень большой нагрузке большие вращающие моменты при малых частотах вращения, а при меньших нагрузках (на нормальном ходу) меньшие моменты и большие частоты.

Напряжение на зажимах двигателя:

$$U = E + r_{\text{я}} I_{\text{я}} \quad (10.1)$$

Для двигателя последовательного возбуждения

$$I_{\text{я}} = I_{\text{н}} = I_{\text{в}} \quad (10.2)$$

КПД двигателя равен отношению мощности отдаваемой к мощности потребляемой

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - \Sigma P}{P_1} \quad (10.3)$$

где ΣP - суммарные потери мощности генератора;

P_1 - мощность, передаваемая генератору от привода;

P_2 - полезная мощность генератора, отдаваемая в сеть нагрузки.

К потерям мощности двигателя относят электрические потери в обмотках якоря P_a и возбуждения P_v , механические потери и потери в стали. Электромагнитная мощность двигателя

$$P_{эм} = I_a E \quad (10.4)$$

Мощность, подводимая к двигателю:

$$P_1 = I_n U_n, \quad (10.5)$$

где I_n - номинальный ток двигателя,

U_n - номинальное напряжение сети.

Вращающий электромагнитный момент двигателя при номинальном режиме

$$M_{ном} = 9,55 \frac{P_{ном}}{n_{ном}} \quad (10.6)$$

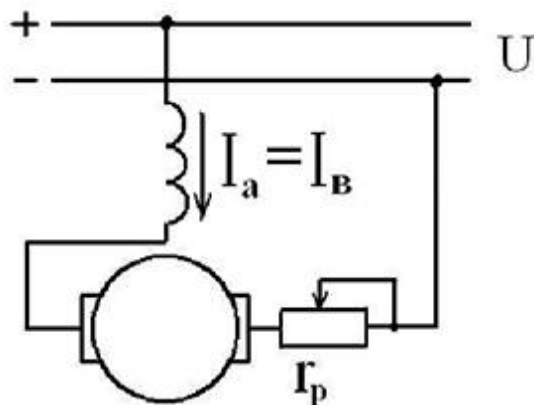


Рисунок 10.1 – Схема двигателя постоянного тока последовательного возбуждения

Ход работы

- 1) Изобразите схему двигателя постоянного тока последовательного возбуждения и запишите данные для своего варианта. При изображении схемы соблюдайте правила начертания схем и элементов.
- 2) Рассчитайте величины в соответствии с заданием.
- 3) Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
- 4) Используйте свойства последовательного и параллельного соединений элементов электрической цепи, законы Ома и Кирхгофа.
- 5) Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
- 6) Оформите отчет по практической работе.

Задача 1

Электродвигатель постоянного тока с последовательным возбуждением отдает полезную мощность P_2 и потребляет из сети мощность P_1 при напряжении $U_{ном}$. Двигатель развивает полезный момент M при частоте вращения якоря n . Сила тока в цепи якоря равна I , противо-ЭДС в обмотке якоря E . Потери мощности в обмотках якоря и возбуждения равны P_a . Сопротивление обмоток якоря и возбуждения $R_a + R_{пс}$. В момент пуска двигатель потребляет из сети пусковой ток $I_{п}$. Коэффициент полезного действия двигателя равен $\eta_{дв}$. Схема двигателя приведена на рисунке 10.1. Используя данные, приведенные в таблице 10.1, определить все величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов.

Таблица 10.1 – Исходные данные к задаче

Величина	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{ном2}$, кВт	44,0	-	-	21,0	-	-	-	-	5,0	10,0
P_1 , кВт	51,3	-	4,5	-	10	-	11	-	6,7	-
$U_{ном}$, В	-	110	-	250	-	220	110	440	440	-
$M_{ном}$ Нм	296	35	20	310	48	-	79,5	880	-	-
$n_{ном}$ об/мин	-	-	1800	-	1600	1200	-	510	1030	1200
$I_{ном}$, А	205	39	-	-	45,5	33	-	-	-	100
E , В	-	-	-	-	208	-	-	-	417	-
P_a , А	2270	300	-	-	-	-	800	-	-	-
$R_a + R_{пс}$, Ом	-	-	0,55	0,13	-	0,74	-	0,054	-	0,08
$I_{п}$, А	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-
$\eta_{дв}$	-	0,85	-	0,84	-	0,76	0,91	0,78	-	0,905

Контрольные вопросы

- 1) Какие требования предъявляются к пуску ДПТ последовательного возбуждения?
- 2) Поясните, как осуществляется пуск ДПТ последовательного возбуждения.
- 3) Перечислите, какие характеристики ДПТ называются рабочими и при соблюдении каких условий они получаются.
- 4) Каким образом регулируют ток возбуждения в двигателе последовательного возбуждения?
- 5) Какие способы регулирования частоты вращения применяются в двигателях последовательного возбуждения?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №11

Тема: СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗРУ.

Цель: Научиться производить расчет простейших схемы заполнения ЗРУ.

Студент должен *знать*:

- функциональное назначение магнитных цепей электрических аппаратов,

- виды электромагнитных механизмов, их характеристики;
- особенности электромагнитных механизмов переменного тока; способы ускорения и замедления срабатывания электромагнитов;
- уметь:
- проводить расчеты простейших магнитных цепей электрических аппаратов;
- пользоваться справочной литературой.

Справочный материал

Часть электротехнического устройства, отдельные участки которого выполнены из ферромагнитных материалов, по которым замыкается магнитный поток, называется *магнитной цепью*.

Магнитная цепь, которая выполнена из одного материала и по всей длине имеет одинаковое сечение, называется *однородной*.

Неоднородная магнитная цепь состоит из нескольких однородных участков, отличающихся длиной, сечением и материалом. Наиболее часто встречаются магнитные цепи, в которых кроме ферромагнитных участков имеются воздушные зазоры. Неоднородная цепь, изображенная на рисунке 11.1, а, имеет 3 участка, одним из которых является воздушный зазор.

Магнитные цепи, как и электрические, бывают неразветвленными (рисунок 11.1, а) и разветвленными (рисунок 11.1, б).

Характерной особенностью неразветвленной магнитной цепи является неизменный магнитный поток Φ во всех участках цепи (рисунок 11.1, а).

Для разветвленной цепи характерно то, что алгебраическая сумма магнитных потоков в точке разветвления равна нулю, т. е. $\sum \Phi = 0$ - первый закон Кирхгофа для магнитной цепи. Для разветвленной цепи (рисунок 12.1, б) можно записать

$$\Phi - \Phi_1 - \Phi_2 = 0 \text{ или } \Phi = \Phi_1 + \Phi_2.$$

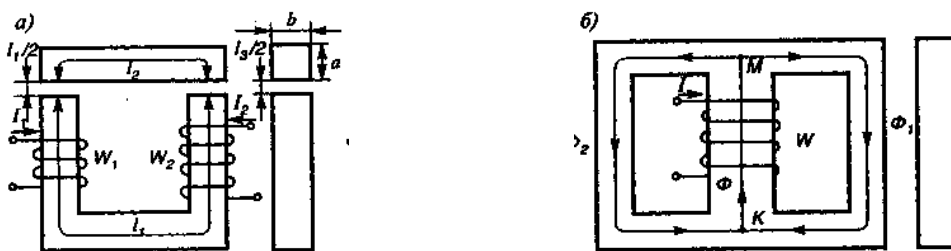


Рисунок 11.1 – Симметричная магнитная цепь

Разветвленные магнитные цепи бывают симметричными и несимметричными. На рисунке 11.1, б изображена симметричная цепь, так как левая и правая ее части имеют одинаковые размеры и выполнены из одного материала.

Магнитный поток в сердечнике кольцевой катушки (рисунок 11.1, а) определяется выражением:

$$\Phi = B \cdot S = \mu_0 \mu_r HS = \mu_0 \mu_r \frac{IW}{l} S \quad (11.1)$$

Или иначе:

$$\Phi = \frac{IW}{l / \mu_0 \mu_r S} \quad (11.2)$$

где IW - намагничивающая сила или магнитное напряжение U_m ;

и S - параметры сердечника;

$\frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$ - магнитное сопротивление сердечника.

Тогда

$$\Phi = \frac{U_m}{R_m} \quad (11.3)$$

Выражение (11.3) - математическая запись закона Ома для магнитной цепи.

Для неоднородной, неразветвленной магнитной цепи, изображенной на рисунке 11.1, а, магнитный поток, созданный в магнитной цепи двумя обмотками по закону Ома, определяется формулой:

$$\Phi = \frac{I_1 W_1 \pm I_2 W_2}{\frac{l_1}{\mu_0 \mu_r S_1} + \frac{l_2}{\mu_0 \mu_r S_2} + \frac{l_3}{\mu_0 \mu_r S_3}} \quad (11.4)$$

Между ампер-витками обеих обмоток стоит знак «+» (11.4), если обмотки включены согласно, т. е. создают магнитные потоки в сердечнике одного направления, или знак «-», если они включены встречно, т. е. создают магнитные потоки в сердечнике, направленные в противоположные стороны. Знаменатель выражения (11.4) представляет собой сумму магнитных сопротивлений однородных участков магнитной цепи (рисунок 11.1, а). Очевидно, самым большим будет сопротивление воздушного зазора, так как магнитная проницаемость его μ_r во много раз меньше магнитной проницаемости ферромагнитных участков, которые обычно выполняются из магнитно-мягких материалов.

Закон Ома для расчета магнитных цепей практически не используется, так как магнитная цепь не линейна, т. е. магнитное сопротивление ферромагнитных участков цепи зависит от намагничивающей силы.

Закон Ома решает качественную задачу расчета магнитной цепи, т. е. задачу зависимости одних величин от других.

Для расчета магнитных цепей можно воспользоваться законом полного тока. При этом решается одна из двух задач:

1) Прямая задача, в которой по заданному магнитному потоку Φ в магнитной цепи определяют намагничивающую силу IW .

2) Обратная задача, в которой по заданной намагничивающей силе IW определяют магнитный поток Φ .

Для однородной магнитной цепи прямая задача решается в следующей последовательности:

а) по заданному магнитному потоку и габаритам цепи определяют магнитную индукцию $B = \Phi/S$;

б) по кривой намагничивания материала сердечника определяют напряженность H по вычисленной индукции B ;

в) по закону полного тока определяют намагничивающую силу $IW = Hl$,

где S - сечение магнитопровода; l - длина средней линии магнитопровода.

Обратная задача для однородной цепи решается в обратной последовательности, т. е.:

а) по закону полного тока определяют напряженность поля магнитной цепи $H = IW/l$;

б) по кривой намагничивания материала сердечника определяют магнитную индукцию B , по вычисленному значению напряженности H ;

в) определяют магнитный поток цепи $\Phi = BS$.

Для неоднородной неразветвленной магнитной цепи (см. рисунок 11.1, а) прямая задача решается в следующей последовательности:

а) по заданному магнитному потоку Φ , который для всех участков неразветвленной цепи имеет одинаковое значение, определяют магнитную индукцию B каждого однородного участка

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1}; \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2}; \quad B_3 = \frac{\Phi}{S_3}, \quad (11.5)$$

где S - площадь сечения участка.

Для прямоугольного сечения (рисунок 11.1, а) $S = av$; для круглого сечения $S = \pi d^2/4$.

Если задана магнитная индукция какого-либо участка $B_{уч}$, то находят магнитный поток этого участка $\Phi_{уч} = B_{уч}S_{уч}$, который для всех участков неразветвленной цепи имеет одинаковое значение. Затем определяют магнитную индукцию остальных участков, как показано выше;

б) по кривым намагничивания материалов (Приложение А) определяют напряженности ферромагнитных участков H_1 и H_2 .

Напряженность в воздушном зазоре вычисляют по выражению

$$H_3 = \frac{B_3}{\mu_0} \quad (11.6)$$

в) определив длину средней линии каждого участка, по закону полного тока (второй закон Кирхгофа для магнитной цепи), вычисляют намагничивающую силу рассчитываемой магнитной цепи $IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_2 l_2$, или ток I , или витки W .

Ход работы

- 1) Запишите данные для своего варианта, нарисуйте поясняющий рисунок.
- 2) Рассчитайте величины в соответствии с задачами 1 и 2.
- 3) Для расчета следует пользоваться теоретическими сведениями. Расчет параметров сопровождайте пояснениями.
- 4) Используйте свойства магнитных цепей, законы Ома и Кирхгофа для магнитных цепей.
- 5) Подготовьте ответы на контрольные вопросы.
- 6) Оформите отчет по практической работе.

Задача 1

Определить ток в катушке, имеющей W витков, и магнитную проницаемость сердечника, на котором расположена катушка (рисунок 11.2), выполненном из литой стали, если магнитный поток, созданный током катушки в сердечнике Φ , Вб. Размеры однородной магнитной цепи даны в мм. Исходные данные в таблице 11.1.

Таблица 11.1 - Исходные данные к задаче 1

Вариант	Величины					
	a , мм	b , мм	h , мм	A , мм	W витков	Φ , Вб
1	80	40	260	220	500	$40 \cdot 10^{-4}$
2	50	50	350	250	300	$30 \cdot 10^{-4}$
3	50	100	300	300	200	$1,5 \cdot 10^{-2}$
4	6	6	30	15	1120	$43 \cdot 10^{-4}$
5	25	30	120	100	250	$8 \cdot 10^{-4}$
6	40	40	200	260	2000	$1,92 \cdot 10^{-3}$
7	40	40	160	160	500	$25 \cdot 10^{-4}$
8	70	80	280	360	515	$67,2 \cdot 10^{-4}$
9	60	80	300	400	1200	$80 \cdot 10^{-4}$
10	50	100	300	300	150	$11 \cdot 10^{-2}$

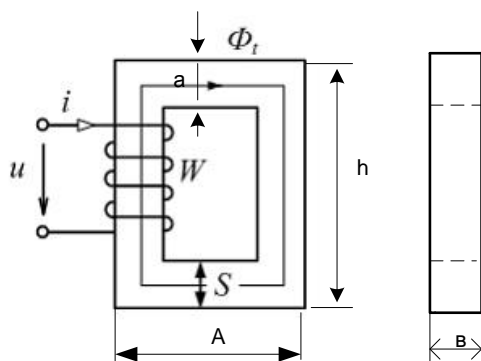


Рисунок 11.2 – К задаче 1

Методические указания к решению задачи № 1

1) По заданному магнитному потоку определяем магнитную индукцию в сердечнике $B = \Phi/S$.

2) По кривой намагничивания для литой стали (Приложение А) определяем напряженность магнитного поля в сердечнике для вычисленного значения индукции B .

3) Величину тока определяем из уравнения закона полного тока $IW = Hl$.

$$I = \frac{Hl}{W}$$

4) Магнитная проницаемость литой стали определяется отношением

$$\mu_r = \frac{B}{H\mu_0}$$

Задача 2

По катушке с числом витков W проходит ток I , А. Катушка расположена на сердечнике из электротехнической стали, размеры которого даны в мм. Определить магнитный поток Φ в магнитопроводе (рисунок 11.3) однородной магнитной цепи. Исходные данные в таблице 11.2.

Таблица 11.2 - Исходные данные к задаче 2

Вариант	Величины			
	d , мм	r , мм	W витков	I , А
1	40	100	1120	5
2	50	300	1500	10
3	100	240	600	4
4	30	100	250	2
5	50	120	300	2
6	40	120	500	5
7	6	20	120	1
8	15	60	600	3
9	20	60	150	2
10	60	120	600	6

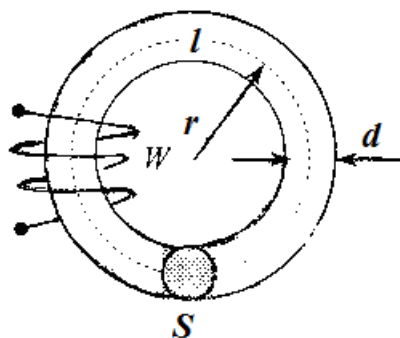


Рисунок 11.3 - К задаче 2

Методические указания к решению задачи 2

1) Напряженность магнитного поля, созданная током катушки, для однородной магнитной цепи

$$H = \frac{IW}{l}$$

где l - длина средней линии кольцевого сердечника.

2) По кривой намагничивания электротехнической стали (Приложение А) определяем B .

3) Магнитный поток в сердечнике

$$\Phi = B \cdot S$$

Контрольные вопросы

- 1) Что называется магнитной цепью?
- 2) Какая магнитная цепь называется однородной, какая разветвленной?
- 3) Запишите закон Ома для магнитной цепи.
- 4) Как решается прямая задача для однородной магнитной цепи.

Содержание отчета

- 1) Номер, название и цель работы.
- 2) Данные своего варианта с поясняющим рисунком.
- 3) Решение задачи с пояснениями.
- 4) Ответы к решению задачи.
- 5) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №12

Тема: СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗРУ.

Цель: Научиться разрабатывать электрическую схему подстанции

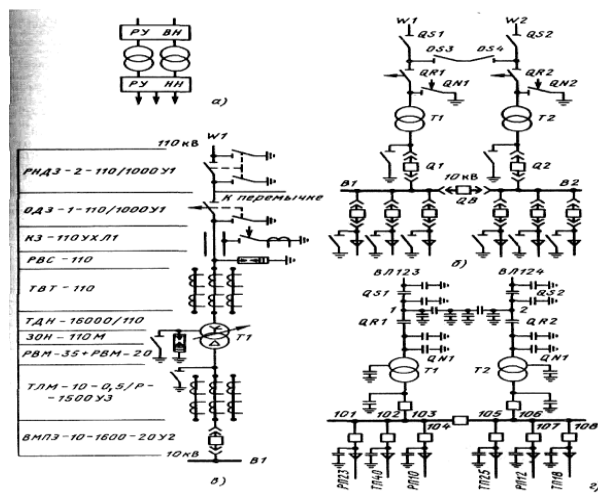
Порядок выполнения занятия:

1. Изучить инструкцию к практической работе.
2. Произвести расчет
3. Сделать вывод.

Главная схема электрических соединений электростанции (подстанции) — это совокупность основного электрооборудования (генераторы,

трансформаторы, шин, коммутационной первичной всеми выполненными натуре соединениями. схемы является при проектировании

линии), сборных и другой аппаратуры со между ними в Выбор главной определяющим



электрической части электростанции (подстанции), так как он определяет полный состав элементов и связей между ними. Выбранная главная схема является исходной при составлении принципиальных схем электрических соединений, схем собственных нужд, схем вторичных соединений, монтажных схем

и

т.

д.

На чертеже главные схемы изображаются в однолинейном исполнении при отключенном положении всех элементов установки. В некоторых случаях допускается изображать отдельные элементы схемы в рабочем положении.

Рис. 1. Виды схем (на примере подстанции 110/10 кВ)

Все элементы схемы и связи между ними изображаются в соответствии со стандартами единой системы конструкторской документации (ЕСКД). В условиях эксплуатации, наряду с принципиальной, главной схемой, применяются упрощенные оперативные схемы, в которых указывается только основное оборудование. Дежурный персонал каждой смены заполняет оперативную схему и вносит в нее необходимые изменения в части положения выключателей и разъединителей, происходящие во время дежурства.

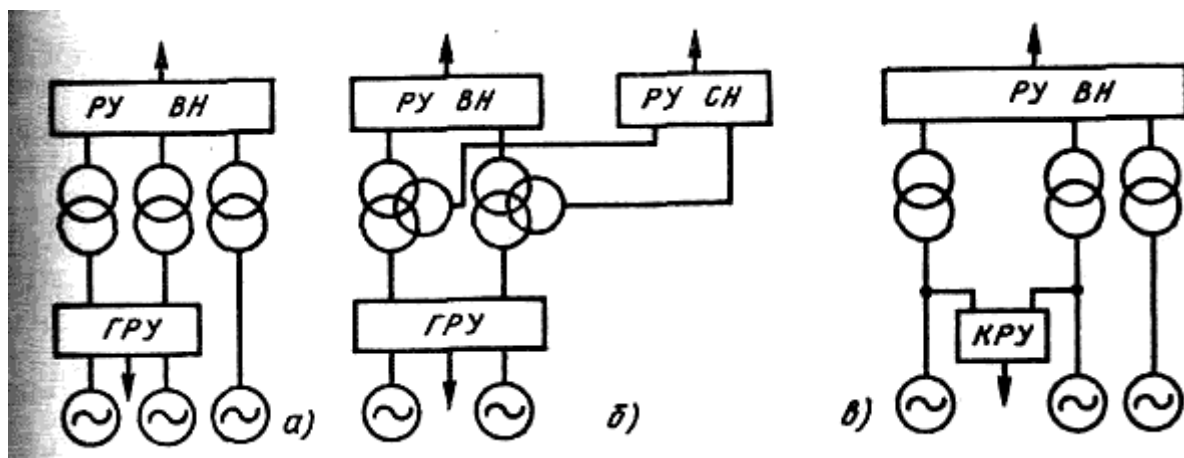


Рис. 2. Структурные схемы ТЭЦ

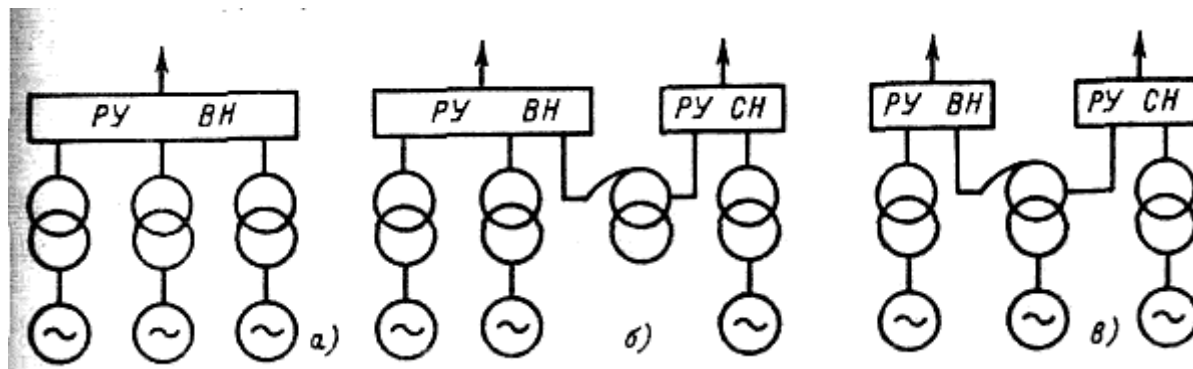


Рис. 3. Структурные схемы КЭС, ГЭС, АЭС

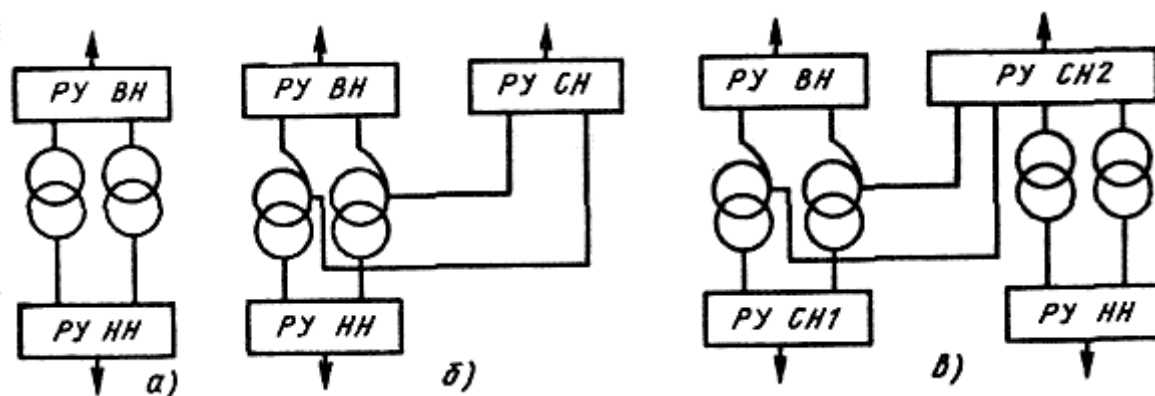


Рис. 4. Структурные схемы подстанций

Если электроэнергия выдается на высшем и среднем напряжении, то связь между РУ осуществляется автотрансформатором связи (рис. 3,6)

Задание:

В связи с высокой степенью загрязнения- IV применяем ЗРУ-110кВ и КРУН-6кВ. Согласно нормам технологического проектирования для тупиковой ПС, питающейся от одной ВЛ, выбираем блок линия-трансформатор с выключателем. (Схема 110 – 3Н[5])

Понижающие подстанции предназначены для распределения энергии по сети низкого напряжения и создания пунктов соединения сети высокого напряжения.

Данная подстанция в общем случае состоит из следующих основных элементов:

- а) силовых трансформаторов ТДН-16000/110;
- б) ЗРУ-110кВ;
- в) комплектного распределительного устройства (КРУН-6 кВ);
- г) жесткой и гибкой ошиновок;
- д) кабельных конструкций;
- е) осветительных устройств;
- ж) грозозащиты;
- з) заземления;
- и) фундаментов и ограждений.

Разработка главной схемы подстанции

Выбранный вариант структурной схемы ПС должен быть подробно разработан для обоих напряжений (ВН и НН). Подробная разработка приводит к составлению принципиальной электрической схемы главных цепей подстанции, называемой в дальнейшем «главной схемой».

Разработка главной схемы предполагает выбор ее вида, определения количества систем шин и секций РУ, расстановку электрических аппаратов в зависимости от структурной схемы, номинального напряжения, режимов работы оборудования и нейтрали, требований надежности и других условий.

Разработка схемы высшего напряжения.

Схема тупиковой подстанции.

Разработка схемы низшего напряжения

Для определения режима работы нейтрали вычислим ток ОЗЗ:

Принципиальная схема РУ 6кВ (одиночная секционированная выключателем система шин).

Контрольные вопросы:

1. Особенности выбора трансформаторов на подстанции
2. Особенности технико-экономического сравнения вариантов на подстанции
3. Особенности выбора заземляющих устройств на подстанции
4. Формула минимальных затрат на станции типа подстанции

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №13

Тема: СОСТАВЛЕНИЕ СХЕМЫ ЗАПОЛНЕНИЯ ЗРУ.

Цель: Научиться производить расчет простейших магнитных цепей ЗРУ.

Студент должен *знать*:

- функциональное назначение магнитных цепей электрических аппаратов, виды электромагнитных механизмов, их характеристики;
 - особенности электромагнитных механизмов переменного тока; способы ускорения и замедления срабатывания электромагнитов;
- уметь:
- проводить расчеты простейших магнитных цепей электрических аппаратов;
 - пользоваться справочной литературой.

Справочный материал

Часть электротехнического устройства, отдельные участки которого выполнены из ферромагнитных материалов, по которым замыкается магнитный поток, называется *магнитной цепью*.

Магнитная цепь, которая выполнена из одного материала и по всей длине имеет одинаковое сечение, называется *однородной*.

Неоднородная магнитная цепь состоит из нескольких однородных участков, отличающихся длиной, сечением и материалом. Наиболее часто встречаются магнитные цепи, в которых кроме ферромагнитных участков имеются воздушные зазоры. Неоднородная цепь, изображенная на рисунке 11.1, *а*, имеет 3 участка, одним из которых является воздушный зазор.

Магнитные цепи, как и электрические, бывают неразветвленными (рисунок 11.1, а) и разветвленными (рисунок 11.1, б).

Характерной особенностью неразветвленной магнитной цепи является неизменный магнитный поток Φ во всех участках цепи (рисунок 11.1, а).

Для разветвленной цепи характерно то, что алгебраическая сумма магнитных потоков в точке разветвления равна нулю, т. е. $\sum \Phi = 0$ - первый закон Кирхгофа для магнитной цепи. Для разветвленной цепи (рисунок 12.1, б) можно записать

$$\Phi - \Phi_1 - \Phi_2 = 0 \text{ или } \Phi = \Phi_1 + \Phi_2.$$

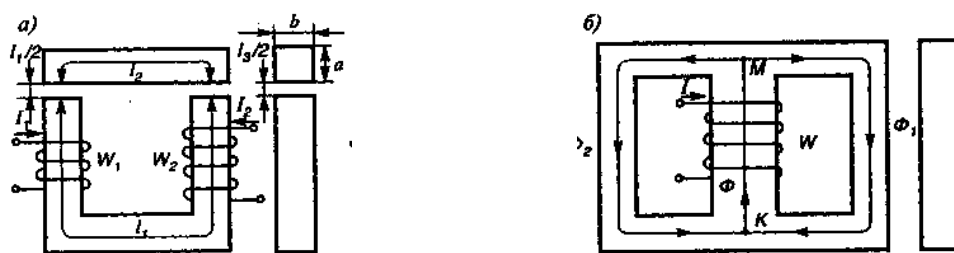


Рисунок 11.1 – Симметричная магнитная цепь

Разветвленные магнитные цепи бывают симметричными и несимметричными. На рисунке 11.1, б изображена симметричная цепь, так как левая и правая ее части имеют одинаковые размеры и выполнены из одного материала.

Магнитный поток в сердечнике кольцевой катушки (рисунок 11.1, а) определяется выражением:

$$\Phi = B \cdot S = \mu_0 \mu_r H S = \mu_0 \mu_r \frac{IW}{l} S \quad (11.1)$$

Или иначе:

$$\Phi = \frac{IW}{l / \mu_0 \mu_r S} \quad (11.2)$$

где IW - намагничивающая сила или магнитное напряжение U_m ;

l и S - параметры сердечника;

$\frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$ - магнитное сопротивление сердечника.

Тогда

$$\Phi = \frac{U_m}{R_m} \quad (11.3)$$

Выражение (11.3) - математическая запись закона Ома для магнитной цепи.

Для неоднородной, неразветвленной магнитной цепи, изображенной на рисунке 11.1, а, магнитный поток, созданный в магнитной цепи двумя обмотками по закону Ома, определяется формулой:

$$\Phi = \frac{I_1 W_1 \pm I_2 W_2}{\frac{l_1}{\mu_0 \mu_r S_1} + \frac{l_2}{\mu_0 \mu_r S_2} + \frac{l_3}{\mu_0 \mu_r S_3}} \quad (11.4)$$

Между ампер-витками обеих обмоток стоит знак «+» (11.4), если обмотки включены согласно, т. е. создают магнитные потоки в сердечнике одного направления, или знак «-», если они включены встречно, т. е. создают магнитные потоки в сердечнике, направленные в противоположные стороны. Знаменатель выражения (11.4) представляет собой сумму магнитных сопротивлений однородных участков магнитной цепи (рисунок 11.1, а). Очевидно, самым большим будет сопротивление воздушного зазора, так как магнитная проницаемость его μ_r во много раз меньше магнитной проницаемости ферромагнитных участков, которые обычно выполняются из магнитно-мягких материалов.

Закон Ома для расчета магнитных цепей практически не используется, так как магнитная цепь не линейна, т. е. магнитное сопротивление ферромагнитных участков цепи зависит от намагничивающей силы.

Закон Ома решает качественную задачу расчета магнитной цепи, т. е. задачу зависимости одних величин от других.

Для расчета магнитных цепей можно воспользоваться законом полного тока. При этом решается одна из двух задач:

1) Прямая задача, в которой по заданному магнитному потоку Φ в магнитной цепи определяют намагничивающую силу IW .

2) Обратная задача, в которой по заданной намагничивающей силе IW определяют магнитный поток Φ .

Для однородной магнитной цепи прямая задача решается в следующей последовательности:

- г) по заданному магнитному потоку и габаритам цепи определяют магнитную индукцию $B = \Phi/S$;
- д) по кривой намагничивания материала сердечника определяют напряженность H по вычисленной индукции B ;
- е) по закону полного тока определяют намагничивающую силу $IW = Hl$,

где S - сечение магнитопровода; l - длина средней линии магнитопровода.

Обратная задача для однородной цепи решается в обратной последовательности, т. е.:

- г) по закону полного тока определяют напряженность поля магнитной цепи $H = IW/l$;
- д) по кривой намагничивания материала сердечника определяют магнитную индукцию B , по вычисленному значению напряженности

H ;

е) определяют магнитный поток цепи $\Phi = BS$.

Для неоднородной неразветвленной магнитной цепи (см. рисунок 11.1, а) прямая задача решается в следующей последовательности:

а) по заданному магнитному потоку Φ , который для всех участков неразветвленной цепи имеет одинаковое значение, определяют магнитную индукцию B каждого однородного участка

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1}; \quad B_2 = \frac{\Phi}{S_2}; \quad B_3 = \frac{\Phi}{S_3}, \quad (11.5)$$

где S - площадь сечения участка.

Для прямоугольного сечения (рисунок 11.1, а) $S = av$; для круглого сечения $S = \pi d^2/4$.

Если задана магнитная индукция какого-либо участка $B_{уч}$, то находят магнитный поток этого участка $\Phi_{уч} = B_{уч}S_{уч}$, который для всех участков неразветвленной цепи имеет одинаковое значение. Затем определяют магнитную индукцию остальных участков, как показано выше;

б) по кривым намагничивания материалов (Приложение А) определяют напряженности ферромагнитных участков H_1 и H_2 .

Напряженность в воздушном зазоре вычисляют по выражению

$$H_3 = \frac{B_3}{\mu_0} \quad (11.6)$$

в) определив длину средней линии каждого участка, по закону полного тока (второй закон Кирхгофа для магнитной цепи), вычисляют намагничивающую силу рассчитываемой магнитной цепи $IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3$, или ток I , или витки W .

Ход работы

Подготовьте ответы на контрольные вопросы.

Оформите отчет по практической работе.

Задача 1

Определить ток в катушке, имеющей W витков, и магнитную проницаемость сердечника, на котором расположена катушка (рисунок 11.2), выполненном из литой стали, если магнитный поток, созданный током катушки в сердечнике Φ , Вб. Размеры однородной магнитной цепи даны в мм. Исходные данные в таблице 11.1.

Таблица 11.1 - Исходные данные к задаче 1

Вариант	Величины					
	a , мм	v , мм	h , мм	A , мм	W витков	Φ , Вб
1	60	30	220	220	500	$40 \cdot 10^{-4}$
2	50	50	350	250	300	$30 \cdot 10^{-4}$

3	50	100	300	300	200	$1,5 \cdot 10^{-2}$
4	6	6	30	10	1120	$43 \cdot 10^{-4}$
5	25	30	120	100	250	$8 \cdot 10^{-4}$
6	40	40	200	260	2000	$1,74 \cdot 10^{-3}$
7	40	40	160	160	500	$25 \cdot 10^{-4}$
8	70	80	280	360	515	$67,2 \cdot 10^{-4}$
9	60	80	300	400	1200	$80 \cdot 10^{-4}$
10	50	100	300	300	150	$11 \cdot 10^{-2}$

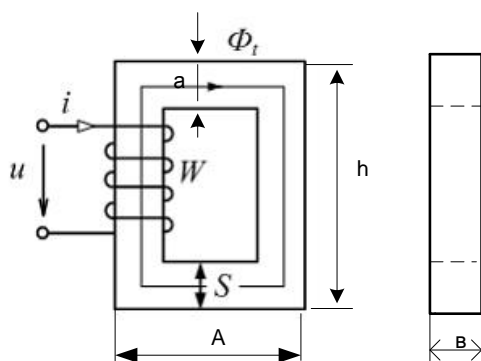


Рисунок 11.2 – К задаче 1

Содержание отчета

1. Номер, название и цель работы.
2. Данные своего варианта с поясняющим рисунком.
3. Решение задачи с пояснениями.
4. Ответы к решению задачи.
- б) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 14

Тема: Расчет заземления распределительного устройства

Цель: Изучить устройство, принцип действия, параметры, марки и технические параметры распределительного устройства.

Студент должен *знать*:

- устройство, принцип действия, основные технические характеристики контактора переменного тока;

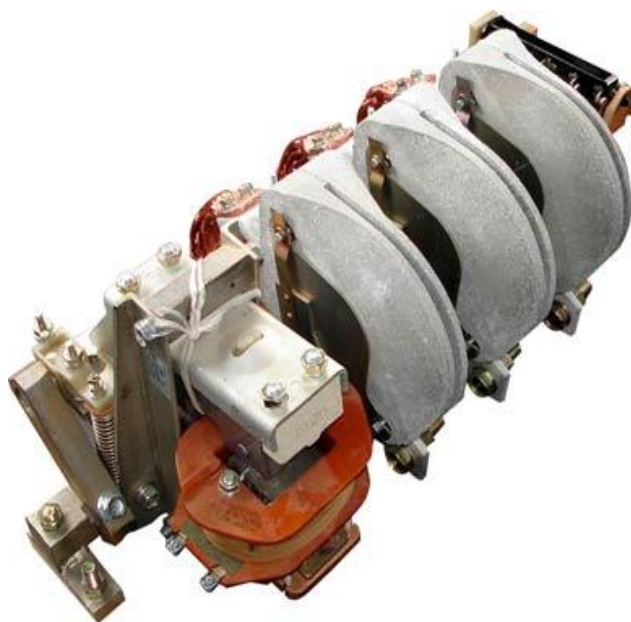
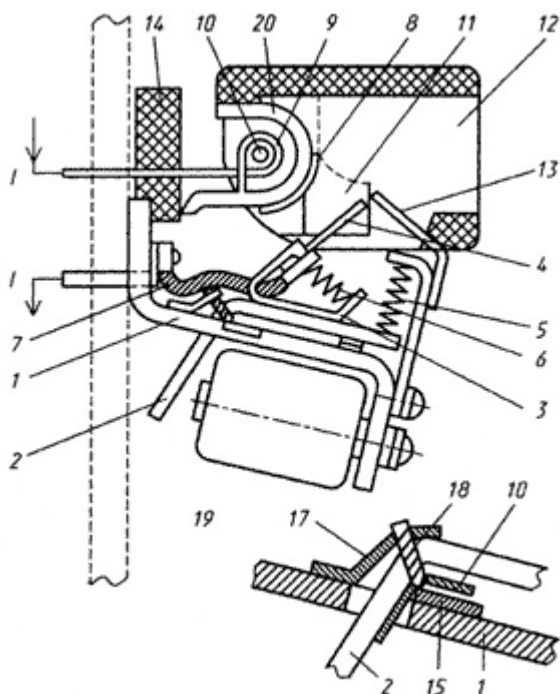
уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры контактора и магнитного пускателя.

Справочный материал

Контактором называют электромагнитный аппарат дистанционного управления, предназначенный для частых включений и отключений электрических цепей, идущих к сетям, электроприемникам и т. п. и

рассчитанных на сравнительно большое номинальное значение силы тока (например, мощных электродвигателей, электрических печей, электрооборудования кранов, троллейбусов). Контакторы могут работать на переменном и постоянном токах при напряжении соответственно до 660 и 750 В.



1 - стальная скоба-основание; 2 - якорь; 3 - скоба; 4 и 8 - подвижный и неподвижный контакты; 5 - возвратная пружина; 6 - контактная пружина; 7 - медная гибкая связь; 9 - катушка магнитного дутья (МД); 10 - сердечник системы МД; 11 - стальные полосы МД; 12 - дугогасительная камера; 13 и 20 - дугогасительные рога; 14 - изоляционное основание; 15 - вставка-призма вращения; 16 - сменная пластина; 17 - планка; 18 - пружина; 19 - включающая катушка; I - коммутируемый ток

Рисунок 12.1 - Конструктивная схема контактора постоянного тока КПВ 600

Контактор (рисунок 12.1) состоит из двух основных частей: магнитной системы (катушка с магнитопроводом) и контактной системы (главные контакты, помещенные в дугогасящую камеру, и блок-контакты).

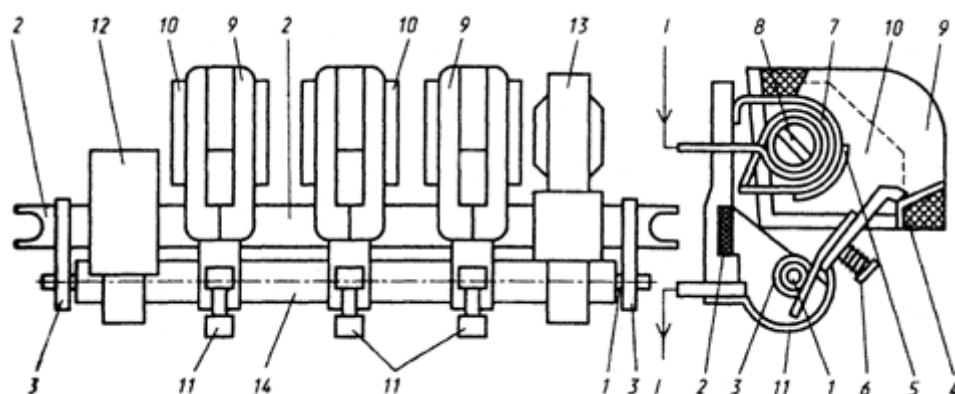
Контакторы постоянного тока изготавливают с одним или двумя полюсами, а контакторы переменного тока - с двумя, тремя, четырьмя или пятью полюсами.

Контакторы переменного и постоянного токов, как правило, имеют конструктивные отличия, поэтому обычно не взаимозаменяемы. Контакторы, как и другие электромагнитные аппараты, имеют магнитную систему, на которой расположена катушка управления. Подвижная часть магнитной системы (якорь) механически связан с группой подвижных контактов - силовых и вспомогательных (или блок-контактов). На рисунке 12.1 представлена

конструкция контактора постоянного тока, а на рисунке 12.2. - контактора переменного тока.

В контакторах не предусмотрены защиты, присущие автоматам и магнитным пускателям. Контакторы обеспечивают большое число включений и отключений (циклов) при дистанционном управлении ими. Число этих циклов для контакторов разной категории изменяются от 30 до 3600 в час. Контакторы выпускаются переменного (типа К и КТ) и постоянного (типа КП, КМ, КПД) токов.

Контакторы имеют главные (силовые) контакты и вспомогательные или блок-контакты, предназначенные для организации цепей управления и блокировки. Главные контакты, как правило, снабжаются специальными дугогасительными устройствами.



1 - вал; 2 - металлическая изолированная рейка; 3 - подшипники; 4 и 5 - подвижный и неподвижный контакты; 6 - контактная пружина; 7 - катушка магнитного дутья (МД); 8 - сердечник системы МД; 9 - дугогасительная камера; 10 - полосы системы МД; 11 - гибкая медная связь; 12 - узел вспомогательных контактов; 13 - электромагнит; 14 - изоляционный слой на металлическом валу;

I – коммутирующий ток

Рисунок 12.2 - Конструктивная схема контактора КТ6000

Классификация электромагнитных контакторов.

Общепромышленные контакторы классифицируются:

- по роду тока главной цепи и цепи управления (включающей катушки)
 - постоянного, переменного, постоянного и переменного тока;
- по числу главных полюсов - от 1 до 5;
- по номинальному току главной цепи - от 1,5 до 4800 А;
- по номинальному напряжению главной цепи: от 27 до 2000 В постоянного тока; от 110 до 1600 В переменного тока частотой 50, 60, 500, 1000, 2400, 8000, 10 000 Гц;
- по номинальному напряжению включающей катушки: от 12 до 440 В постоянного тока, от 12 до 660 В переменного тока частотой 50 Гц, от 24 до 660 В переменного тока частотой 60 Гц;
- по наличию вспомогательных контактов - с контактами, без контактов.

Тип контактора обозначают сочетанием букв:

КП, КН, КПП или КПД - контакторы постоянного тока;

КТ, КТП или КНТ - контакторы переменного тока.

Кроме этого, с помощью дополнительных букв и цифр указывают также следующее:

серию - первая цифра;

исполнение главных контактов - вторая цифра: 1 - один замыкающий контакт, 2 - два замыкающих контакта, 3 - один размыкающий и один замыкающий контакты;

величину контакта - третья цифра: 1 - до 63 А, 2 - до 100 А, 3 - до 160 А, 4 - до 250 А, 5 - до 630 А;

индекс очередной модификации - первая буква после цифр;

климатические условия эксплуатации - вторая буква после цифр;

среду, в которой контактор предназначен для работы, - последняя цифра: 1 - на открытом воздухе, 2 - под навесом, 3 - в помещении.

Рассмотрим пример: КПД-121ЕУЗ - это контактор постоянного тока, предназначен для управления крановым электрооборудованием, серии 100, имеет два замыкающих контакта, первой величины, нормально работает в умеренном климате в помещении.

Ход работы

Оборудование: контактор, отвертки.

- 1) Внимательно осмотрите контактор.
- 2) Определите тип контактора, запишите технические данные.
- 3) Снимите крышку контактора, рассмотрите устройство его основных частей.
- 4) Опишите назначение и устройство контактора переменного тока.
- 5) Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1) Что называют контактором?
- 2) Как присоединяют к управляемой цепи контактор?
- 3) Сколько полюсов может быть у контактора постоянного тока, переменного тока?
- 4) Как маркируются контакторы?
- 5) Расшифруйте марку контактора: КМВ-621У2, КП-7 У1.

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Технические данные контактора.
- 3) Назначение и устройство контактора переменного тока.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 14

Тема: Расчет заземления распределительного устройства

Цель расчета: определение количества электродов заземлителя и заземляющих проводников, их размеров и схемы размещения в земле, при которых сопротивление заземляющего устройства растеканию тока или напряжение прикосновения при замыкании фазы на заземленные части электроустановок не превышает допустимых значений.

1. Краткие теоретические сведения.

Защитное заземление – преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Назначение защитного заземления – устранение опасности поражения людей электрическим током при появлении напряжения на конструктивных частях электрооборудования, т.е. при замыкании на корпус.

Принцип действия защитного заземления – снижение до безопасных значений напряжений прикосновения и шага, обусловленных замыканием на корпус. Это достигается уменьшением потенциала заземленного оборудования, а также выравниванием потенциалов за счет подъема потенциала основания, на котором стоит человек, до потенциала, близкого по значению к потенциалу заземленного оборудования.

Заземляющим устройством называется совокупность вертикальных заземлителей – металлических проводников, находящихся в непосредственном соприкосновении с землей, и горизонтальных заземляющих проводников, соединяющих заземляемые части электроустановки с заземлителем.

Внутри помещений выравнивание потенциала происходит естественным путем через металлические конструкции, трубопроводы, кабели и подобные им проводящие предметы, связанные с разветвленной сетью заземления.

Защитному заземлению подлежат металлические нетоковедущие части оборудования, которые из-за неисправности изоляции могут оказаться под напряжением и к которым возможно прикосновение людей. При этом в помещении с повышенной опасностью и особо опасных по условиям поражений током, а также в наружных установках заземление является обязательным при номинальном напряжении электроустановки выше 42В переменного и выше 110В постоянного тока, а в помещениях без повышенной опасности – при напряжении 380В и выше переменного 440В и выше постоянного тока. Лишь во взрывоопасных помещениях заземление выполняется независимо от назначения установки.

Различают заземлители **искусственные**, предназначенные исключительно для целей заземления, и **естественные** – находящиеся в земле металлические предметы, используемые для иных целей (проложенные в земле металлические водопроводные трубы; трубы артезианских скважин; металлические каркасы зданий и сооружений и т.п.). **Запрещается использовать в качестве естественных заземлителей трубопроводы горючих жидкостей, горючих и взрывоопасных газов, а также трубопроводы, покрытые изоляцией для защиты от коррозии.** Естественные заземлители обладают, как правило,

малым сопротивлением растеканию тока, и поэтому использование их для целей заземления дает большую экономию. Недостатками естественных заземлителей является их доступность и возможность нарушения непрерывности соединения протяженных заземлителей.

По форме расположения заземлителей заземление бывает контурное и выносное.

В **контурном** заземлении все электроды располагают по периметру защищаемой территории. В **выносных** (сосредоточенное или очаговое) – заземлители располагают на расстоянии друг от друга не менее длины электрода.

В соответствии с требованиями механической прочности и допустимого нагрева токами замыкания на землю в установках напряжением свыше 1000В заземляющие стальные магистральные проводники должны иметь сечение не менее 120 мм², а в установках до 1000В – не менее 100 мм².

Дополнительная информация (извлечения из ПУЭ – «Правила устройства электроустановок», 2000г.) приведена в Приложении 2.

2. Порядок расчета.

2.1. Определяют расчетный ток однофазного короткого замыкания I_z :

$$I_z = U_{\text{л}}(35 I_k + I_{\text{в}})/350 \text{ (A)} \quad (1)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное напряжение сети, кВ;

I_k и $I_{\text{в}}$ – длины электрически связанных кабельных и воздушных линий; км.

2.2. Рассчитывают необходимое сопротивление заземляющего устройства R_z в соответствии с табл. 1¹. В случае, если R_z больше допустимого значения, то в дальнейших расчетах R_z принимают равным допустимому значению.

2.3 Определяют расчетное удельное сопротивление грунта ρ_p :

$$\rho_p = \rho_{\text{изм}} \cdot \Psi, \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (2)$$

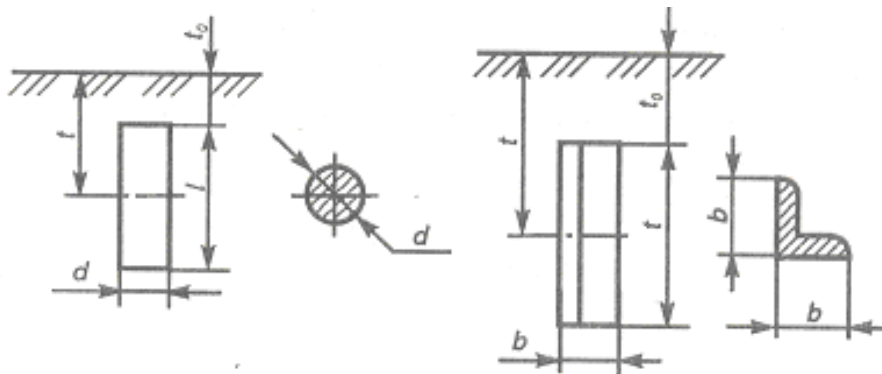
где $\rho_{\text{изм}}$ – удельное электрическое сопротивление грунта, полученное измерением или из справочной литературы (табл.2); Ψ – коэффициента сезонности, значение которого зависит от климатической зоны; (для четвертой климатической зоны со средними низшими температурами в январе от 0 до – 5 °С и высшими в июле от +23 до +26 °С $\Psi = 1,3$).

При высоком удельном сопротивлении земли применяют способы искусственного снижения $\rho_{\text{изм}}$ в целях уменьшения размеров и количества используемых электродов и площади территории, занимаемой заземлителем. Существенного результата достигают химической обработкой области вокруг заземлителей с помощью электролитов, либо путем укладки заземлителей в

котлованы с насыпным углем, коксом, глиной.

2.4 При использовании искусственных заземлителей вначале выбирают материал, тип и размеры заземлителей.

В качестве заземлителей применяют стальные трубы с толщиной стенок 35 – 50 мм, длиной 2 – 3 м; угловую сталь толщиной не менее 4 мм; прутковую сталь диаметром не менее 10 мм, длиной до 10 м. Заземлители размещают в земле вертикально на глубине 0,5 – 0,8 м и соединяют при помощи сварки горизонтальной металлической полосой шириной 20-40 мм.



в)

Рис.1 Схематическое изображение заземлителей: а – стержневой (трубчатый); б – уголкового.

Примечание 1 - все таблицы приведены в Приложении 1

Сопротивления одиночного вертикального стержневого заземлителя, заглубленного ниже уровня земли на t_0 , м определяется по формуле:

$$R_{овс} = \frac{\rho_p}{2\pi \cdot l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \text{ Ом} \quad (3)$$

где: ρ_p – расчетное удельное сопротивление грунта, Ом \times м;

l – длина стержня, м;

d – диаметр стержня, м;

t – расстояние от поверхности земли до середины заземлителя, м;

t_0 – глубина забивки заземлителя, м.

2.5 Определяют приближенное число заземлителей:

$$n \approx \frac{R_{овс}}{R_3}, \text{ шт} \quad (4)$$

где R_3 – допустимое сопротивление защитного заземления (по табл. 2.), Ом

2.6 По приближенному числу заземлителей – n и по отношению расстояния между заземлителями a к длине вертикального заземлителя l , определяют коэффициент использования заземлителей $\eta_{из}$ (табл. 3); a/l принимают равным 1; 2; 3.

2.7 Предварительное определение количества заземлителей:

$$n_3 = \frac{R_{овс}}{\eta_{из} R_3}, \text{ шт.} \quad (5)$$

2.8 Сопротивление полосы (без учета коэффициента использования полосы), соединяющей одиночные вертикальные стержни заземлителя определяется по формуле:

$$R_{пол} = \frac{\rho_p}{2\pi \cdot l_1} \cdot \ln \frac{2l_1^2}{bh_0}, \text{ Ом} \quad (6)$$

где: b – ширина полосы, равная 20– 40 мм; l_1 – длина полосы, соединяющей заземлители по контуру равна периметру $P=a \cdot n_3$, м.

Если предварительное количество заземлителей $n_3 \leq 20$, то заземлители располагаются в ряд. В этом случае длина соединительной полосы определяется по формуле :

$$l_1 = a(n_3 - 1), \quad (7)$$

где a – расстояние между заземлителями ;

$a = (1 \div 3) \times l$; l – длина вертикального заземлителя.

2.9 Сопротивление соединительной полосы с учетом коэффициента использования (табл. 4):

$$R'_{пол} = \frac{R_{пол}}{\eta_{ин}}, \text{ Ом} \quad (8)$$

2.10 Уточняется необходимое сопротивление вертикальных стержневых заземлителей с учетом сопротивления полосы:

$$R_{овс}^{пол} = \frac{R'_{пол} \cdot R_3}{R'_{пол} - R_3}, \text{ Ом} \quad (9)$$

2.11 Уточненное количество заземлителей с учетом коэффициента использования заземлителей, определяется по формуле:

$$n'_3 = \frac{R_{овс}}{R_{овс}^{пол} \cdot \eta_{из}}, \text{ шт} \quad (10)$$

2.12 Определяем суммарное (общее) сопротивление группового заземлителя по формуле:

$$R_{общ} = \frac{R_{cm} R_{л}}{R_{cm} \eta_k + R_{л} \eta_{л} n} \approx \frac{47.2 * 5.57}{47.2 * 0.27 + 5.57 * 0.55 * 22} = 3,2 \text{ Ом} \quad (11)$$

Расхождение между значениями общего сопротивления ($R_{общ}$) и допустимого сопротивления ($R_{доп}$) не должно превышать 20%. Для уменьшения разницы корректируют количество заземляющих электродов.

3. Рабочее задание

4.1 Исходные данные:

1. Напряжение в трехфазной сети с изолированной нейтралью – 220/380 В.
2. Искусственные заземлители могут быть выполнены из:
 - стальных стержней диаметром $d = 12-14$ мм и длиной $l = 5-10$ м.;
 - уголка стороной $b = 40 \times 40$ мм или $b = 60 \times 60$ мм, $l = 2,5-3$ м;
 - стальных труб с диаметром $d = 35 - 40$ мм, $l = 2,5-3$ м;
 - стальной полосы $b = 20-40$ мм, $l = 15; 25; 50$ м
3. Расстояние между одиночными вертикальными заземлителями - a , м; при этом $a / l = 1, 2$ или 3
4. Глубина заложения (расстояние от поверхности грунта до середины вертикальных стержней) $H = 0,5-0,8$ м.
5. Расстояние между параллельными полосами $l = 1; 2,7; 5; 10; 15$ м.
6. Заземляющее устройство представляет систему вертикальных электродов, соединенных горизонтальным проводником.
7. Стержни размещают по периметру P , м (контурное заземление);

3.2 Варианты заданий приведены в таблице.

Исходные данные	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_B , км	10	20	15	10	10	15	15	20	15	10
L_K , км	50	60	60	60	50	60	55	60	50	60

$\rho_{\text{изм}},$ $\text{Ом}\cdot\text{м}$	500	300	150	700	160	400	200	150	200	400
$R, \text{м}$	350	230	85	150	100	350	160	130	380	250

3.3 Выполнить расчет, сформулировать выводы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 15

Тема: РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Цель работы: Научить производить расчёт заземляющих устройств распределительного устройства

Краткие теоретические сведения:

Заземление – это преднамеренное соединение частей электроустановки с землей с помощью заземляющего устройства, состоящее из вертикальных заземлителей и горизонтальных заземляющих проводников.

Зануление – это преднамеренное соединение частей электроустановки, которые в нормальном состоянии не находятся под напряжением (нейтраль обмотки трансформатора, соединенная в схему «ЗВЕЗДА» для сетей с глухозаземлёй нейтралью напряжением до 1000В) с заземляющим устройством, состоящее из вертикальных заземлителей и горизонтальных заземляющих проводников.

Нулевым рабочим проводником (N) называется проводник, предназначенный для питания однофазных электроприёмников переменного тока в сетях с глухозаземлёй нейтралью напряжением до 1000 В и присоединяемый к нейтрали трансформатора или генератора.

Нулевым защитным проводником (PE) называется проводник, предназначенный для электробезопасности электроустановок и присоединяемый к заземляющему устройству электроустановки непосредственно.

Различают три вида заземлений:

- **Защитное** – гарантирующие безопасное обслуживание электроустановок.
- **Рабочее** – обеспечивающее нормальную работу электроустановок в выбранных режимах.
- **Грозозащитное** – которая служит для защиты сооружений и электроустановок от атмосферных перенапряжений.

ПУЭ регламентирует следующие значения сопротивлений заземляющих устройств, которые зависят от напряжения электроустановки и режима работы нейтрали :

- Не более **0,5** Ом для электроустановок с эффективно-заземлённой нейтралью напряжением 110 кВ и выше;
- Не более **4,0** Ом для электроустановок с глухозаземлённой нейтралью напряжением 380/220 В;
- Не более **2,0** Ом для электроустановок с глухозаземлённой нейтралью напряжением 660/380 В;
- Не более **8,0** Ом для электроустановок с глухозаземлённой нейтралью напряжением 220/127 В;
- Не более **10** Ом для электроустановок с изолированной или компенсированной нейтралью напряжением 6-10-35 кВ
- Не более **30** Ом для грозозащитного заземления электроустановок независимо от напряжения электроустановки;

Конструктивное исполнение заземляющих устройств бывает естественным или искусственным. Естественными заземлителями могут быть находящиеся в земле металлические конструкции и трубы, а также оболочки и броня кабельных линий. Искусственные заземлители обычно выполняются из вертикальных и горизонтальных электродов соединенные посредством сварки с длиной сварного шва не менее 100 мм. Вертикальные заземлители изготавливаются из черного металлопроката длиной 1-5 метров круглого сечения с наименьшим диаметром 12 мм или углового сечения с наименьшими размерами 50х50х5 мм. Длина вертикального заземлителя рекомендуется не более 5 метров по технологии выполнения монтажа. Горизонтальный заземлитель изготавливается из черного металлопроката полосового сечения с наименьшими размерами 40х4 или круглого сечения с наименьшим диаметром 12 мм. Минимальные размеры вертикальных и горизонтальных заземлителей приняты, потому что заземляющее устройство рассчитано на срок эксплуатации не менее 25 лет. Трубы в виде вертикальных заземлителей применять не рекомендуется. Искусственное заземляющее устройство может выполняться в виде замкнутого контура или расположение в ряд. Замкнутый контур должен располагаться на расстоянии 1-2 м от фундамента здания или под ограждением ГПП, расположение в ряд рекомендуется для длинномерных зданий или в тех случаях, когда расположение в замкнутый контур невозможно. Рекомендуется применение замкнутого контура, потому что вся территория находящаяся внутри контура и за пределами контура на расстоянии 1-2 метра подлежит растеканию потенциала заземляющего устройства, а при расположении в ряд территория растекания потенциала составляет полосу шириной 2-4 метра. Горизонтальный заземлитель устанавливается на глубине 0,7 метра, а вертикальные заземлители заглубляются в траншею, так чтобы над

дном траншеи находился вертикальный заземлитель длиной 100 мм необходимый для присоединения горизонтального заземлителя.

Как определить зависимость проектируемого заземляющего устройства от сечения вертикального заземлителя?

Практически все расчёты для заземляющих устройств ведут к определению количества вертикальных электродов в зависимости от сечения вертикального электрода и сечения горизонтального электрода.

На в практике в основном применяются вертикальный электрод углового сечения, так, как он более стойкий к забиванию электродов в твёрдую землю с указанием ширины полки уголка ***b*** и толщины полки ***m***.

В расчётах для заземляющих устройств в основном применяются электроды круглого сечения с указанием диаметра ***d***.

В данном расчёте необходимо выявить зависимость между диаметром вертикального электрода круглого сечения ***d*** и шириной полки вертикального электрода углового сечения ***b***.

Расчёт проводим в зависимости от площади соприкосновения вертикального электрода с землёй.

Площадь соприкосновения с землёй круглого вертикального электрода

$$S_{\text{круг}} = S_{\text{бок}} + 2 \cdot (S_{\text{попер}})$$

Площадь соприкосновения с землёй углового вертикального электрода

$$S_{\text{угол}} = S_{\text{бок}} + 2 \cdot (S_{\text{попер}})$$

Учитывая, что вертикальный электрод очень длинный можно пренебречь поперечными сечениями электродов, которые будут очень малы по сравнению с площадью бокового сечения, тогда площади соприкосновения будут равны:

$$S_{\text{круг}} = S_{\text{бок}} = \pi \cdot d \cdot l$$

$$S_{\text{угол}} = S_{\text{бок}} = (2b + t) \cdot l \text{ (если представить уголок как полосу с шириной } 2b \text{ и толщиной } m)$$

Приравняем площади соприкосновения круглого и углового вертикальных электродов одинаковой длины ***l***

$$S_{\text{круг}} = S_{\text{бок}} = \pi \cdot d \cdot l = S_{\text{угол}} = S_{\text{бок}} = (2 \cdot (2b + m)) \cdot l$$

Сократив одинаковые длины вертикальных электродов, мы получим уравнение:

$$\pi \cdot d = 2 \cdot (2b + m)$$

из уравнения получим зависимость диаметра круглого заземлителя от ширины полки углового заземлителя:

$$d = (2 \cdot (2b + m)) / \pi$$

из уравнения получим зависимость от ширины полки углового заземлителя от диаметра круглого заземлителя (учитывая что $b = 10m$:

$$b = (d * \pi) / (2 * 2,1)$$

где: d – диаметр круглого вертикального электрода, мм;

b – ширина полки углового вертикального электрода. мм;

m – толщина полки углового вертикального электрода, мм;

π – 3,142 число «ПИ»

Если применяется угловой вертикальный заземлитель, необходимо вначале определить приведённый диаметр углового заземлителя, произвести расчёт заземления, определить количество вертикальных электродов при приведённом диаметре углового заземлителя, а на практике вбивать в землю угловой заземлитель.

Методика выполнения расчета заземляющего устройства

Исходными данными для расчёта являются:

- Периметр здания или сооружения, который определяется в зависимости от схемы подстанции и расположения электрооборудования или габаритов здания или сооружения (a - длина здания или сооружения, b - ширина здания или сооружения)
- Тип грунта, который определяется из исходных данных или в зависимости от региона, где проектируется электроустановка. В зависимости от типа грунта определяется удельное сопротивление грунта по справочной литературе ($\rho_{уд}$ - удельное сопротивление грунта)
- Климатическая зона, определяется из исходных данных или в зависимости от региона, где проектируется электроустановка. В зависимости от климатической зоны определяется коэффициенты сезонности для вертикальных и горизонтальных заземлителей ($K_{с.в}$ - коэффициент сезонности для вертикальных заземлителей, $K_{с.г}$ - коэффициент сезонности для горизонтальных заземлителей).
- Необходимое сопротивление заземляющего устройства определяется в зависимости от напряжения электроустановки и вида нейтрали, при этом необходимо учитывать все напряжения на подстанции в том и числе

напряжение собственных нужд подстанции системой 380/220 В, из всех сопротивлений заземляющих устройств для расчёта принимается наименьшее из сопротивлений (R_3).

- Определяем параметры вертикального заземлителя, которые выбираются в зависимости от типа грунта. Если удельное сопротивление грунта составляет до 100 Ом*м, то рекомендуется диаметр круглого заземлителя диаметром до 12-16 мм и длина вертикального заземлителя до 3 метров. Если удельное сопротивление грунта составляет более 100 Ом*м, то рекомендуется диаметр круглого заземлителя диаметром не более 20-30 мм и длина вертикального заземлителя не более 4-5 метров.
- Определяются параметры горизонтального заземлителя, которые определяются в зависимости от периметра здания или сооружения. Определяется глубина заложения горизонтального электрода в основном глубина заложения вертикального электрода принимается 0,7 метров, для подстанций напряжением 110 кВ и выше рекомендуется применять глубину заложения, но не более 1 метра. Длина горизонтального заземлителя принимается равной периметру контура заземления, у которого длина и ширина здания или сооружения больше на 1-2 метра.
(t – глубина заложения горизонтального заземлителя, G – длина горизонтального заземлителя, b – ширина полосы горизонтального заземлителя)

1. Определяем глубину заложения горизонтального заземлителя t (м)

2. Определяем глубину заложения вертикального электрода:

$$H = (L_v/2) + t \quad (\text{м})$$

3. Определяем расчетное сопротивление грунта вертикальных и горизонтальных заземлителей, в зависимости от климатической зоны:

$$\rho_{\text{расч.в}} = \rho_{\text{уд.}} * K_{\text{с.в.}} \quad (\text{Ом*м})$$

$$\rho_{\text{расч.г}} = \rho_{\text{уд.}} * K_{\text{с.г.}} \quad (\text{Ом*м})$$

4. Определяем периметр заземляющего устройства или длину горизонтального заземлителя:

$$G = [(a + (1 \div 2)) + (b + (1 \div 2))] * 2 \quad (\text{м})$$

5. Определяем сопротивление одного вертикального заземлителя:

$$R_{o.v.} = [(0,366 * \rho_{\text{расч.в}}) / L_v] * [0,5 * (\lg(2 * L_v) / d) + 0,5 * \lg [(4H + L_v) / (4H - L_v)]] \quad (\text{Ом})$$

6. Определяем сопротивление горизонтального заземлителя:

$$R_r = [0,366 * \rho_{\text{расч.г}} / G] * \lg[(2 * G^2) / (b * t)] \quad (\text{Ом})$$

7. Принимаем приближённое количество вертикальных электродов $N_{\text{пр}}$ (шт).

Рекомендуется принимать приближённое количество равное 4,6,10,20,30 шт

8. Определяем расстояние между вертикальными электродами для приближённого количества вертикальных электродов:

$$j_{\text{пр}} = G / N_{\text{пр}} \quad (\text{м})$$

9. Определяем отношение расстояние между электродами к длине вертикального электрода:

$$j_{\text{пр}} / L_v$$

10. В зависимости от отношения расстояния между электродами к длине вертикального электрода ($j_{\text{пр}} / L_v$), принятого приближённого количества вертикальных электродов ($N_{\text{пр}}$), и конструкции заземляющего устройства в замкнутый контур или в ряд по справочной литературе определяется коэффициент использования вертикальных электродов (η_v).

11. Определяем необходимое количество вертикальных электродов:

$$N_{\text{необ.расч.}} = R_{o.v.} / (R_z * \eta_v) \quad (\text{шт})$$

Принимаем ближайшее наибольшее целое количество вертикальных электродов $N_{\text{необ.уст.}}$ (шт)

12. Определяем расстояние между вертикальными электродами для необходимого количества вертикальных электродов:

$$J_{\text{необ}} = G/N_{\text{необ}} \quad (\text{м})$$

13. Определяем отношение расстояние между электродами к длине вертикального электрода:

$$J_{\text{необ}}/L_{\text{в}}$$

14. В зависимости от отношения расстояния между электродами к длине вертикального электрода ($j_{\text{необ}}/L_{\text{в}}$), принятого приближённого количества вертикальных электродов ($N_{\text{необ}}$), и конструкции заземляющего устройства в замкнутый контур или в ряд по справочной литературе определяется коэффициент использования вертикальных электродов ($\eta_{\text{в}}'$) и коэффициент использования горизонтальных электродов ($\eta_{\text{г}}'$).

15. Определяем сопротивление горизонтального заземлителя в контуре из необходимого количества вертикальных электродов:

$$R_{\text{п}} = R_{\text{г}} * \eta_{\text{г}}' \quad (\text{Ом})$$

16. Определяем необходимое сопротивление вертикальных заземлителей с учетом горизонтальных заземлителей:

$$R_{\text{н.в.}} = (R_{\text{п}} * R_{\text{з}})/(R_{\text{п}} + R_{\text{з}}) \quad (\text{Ом})$$

17. Определяем уточненное количество вертикальных электродов обязанных горизонтальным электродом:

$$N_{\text{ут.расч}} = R_{\text{о.в}}/(R_{\text{н.в.}} * \eta_{\text{в}}') \quad (\text{шт})$$

18. Принимаем окончательное ближайшее наибольшее целое количество вертикальных электродов $N_{\text{окон}}$ (шт)

19. Определяем расстояние между вертикальными электродами для окончательного количества вертикальных электродов:

$$J_{\text{окон}} = G/N_{\text{окон}} \quad (\text{м})$$

20. Определяем отношение расстояние между электродами к длине вертикального электрода:

$$J_{\text{окон}}/L_{\text{в}}$$

21. В зависимости от отношения расстояния между электродами к длине вертикального электрода ($j_{\text{окон}}/L_{\text{в}}$), принятого приближённого количества вертикальных электродов ($N_{\text{окон}}$), и конструкции заземляющего устройства в замкнутый контур или в ряд по справочной литературе определяется коэффициент использования вертикальных электродов ($\eta''_{\text{в}}$).

22. Определяем сопротивление заземляющего устройства при выбранном количестве вертикальных электродов:

$$R_{\text{з.у.окон}} = R_{\text{о.в}}/(N_{\text{окон}} * \eta''_{\text{в}}) \quad (\text{Ом})$$

23. Производится проверка проведённого расчёта заземляющего устройства:

$$R_{\text{з}} \geq R_{\text{з.у.окон}}$$

Если данное условие выполняется, тогда расчёт количества заземляющих устройств выполнен верно, а если не выполняется расчёт выполнен с ошибками. Рекомендуется чтобы расстояние между вертикальными электродами должно быть не менее 1 метра, для этого необходимо увеличить длину горизонтального заземлителя путём установки дополнительных горизонтальных электродов параллельно ширине территории ОРУ-110 кВ и вертикальных электродов, или увеличить диаметр вертикального электрода, или увеличить длину вертикального электрода, или увеличить глубину

заглубления до допустимых пределов. Затем необходимо произвести перерасчёт заземляющего устройства, чтобы условие проверки выполнялось и затем составляется таблица выбранного заземляющего устройства.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 16

Тема: РАСЧЕТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА

Цель выполнения практических работ – овладеть методиками оценки и расчета эффективности работы коллективных средств защиты персонала предприятия от опасных и вредных производственных факторов.

Задача 1 Расчет защитного заземления

Действие электротока на человека и виды электротравм

Факторами опасного и вредного воздействия на человека, связанными с использованием электрической энергии, являются:

- протекание электрического тока через организм человека;
- воздействие электрической дуги;
- воздействие биологически активного электрического поля;
- воздействие биологически активного магнитного поля;
- воздействие электростатического поля;
- воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ).

В данной задаче будем рассматривать опасности, связанные с протеканием электрического тока через организм человека.

Опасные и вредные последствия для человека от воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического и магнитного полей, электростатического поля и ЭМИ проявляются в виде электрических ударов, электротравм. Степень воздействия зависит от экспозиции фактора, в том числе от рода и величины напряжения и тока, частоты электрического тока, пути тока через тело человека, продолжительности воздействия электрического тока или электрического и магнитного полей на организм человека, условий внешней среды.

Экспозиция – продолжительность действия опасного или вредного фактора.

Электротравмы:

- локальные поражения тканей (металлизация кожи, электрические знаки и ожоги);
- поражение органов (резкие сокращения мышц, фибрилляция сердца, электроофтальмия, электролиз крови) являются результатом воздействия электрического тока или электрической дуги на человека (электрический удар).

По степени воздействия на организм человека различаются четыре стадии электрического удара:

I – слабые, судорожные сокращения мышц;

II – судорожные сокращения мышц, потеря сознания;

III – потеря сознания, нарушение сердечной и дыхательной деятельности;

IV – клиническая смерть, т. е. отсутствие дыхания и кровообращения.

Механические повреждения, явившиеся следствием воздействия опасных факторов, связанных с использованием электрической энергии (падение с высоты, ушибы), также могут быть отнесены к электротравмам. Кроме того, электрический ток вызывает непроизвольное сокращение мышц (судороги), которое затрудняет освобождение человека от контакта с токоведущими частями. Величины пороговых токов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - **Значения пороговых токов**

Вид тока	Значения тока, <i>мА</i>	
	Переменного	Постоянного
1 <i>Ощутимый</i>	0,6 – 1,5	5-7
2 <i>Неотпускающий</i>	10 - 15	50-60
3 <i>Фибрилляционный</i>	100	300

Переменный ток промышленной частоты человек начинает ощущать при 0,6–15 *мА*. Ток 12–15 *мА* вызывает сильные боли в пальцах и кистях. Человек выдерживает такое состояние 5–10 *с* и может самостоятельно оторвать руки от электродов. Ток 20–25 *мА* вызывает очень сильную боль, руки парализуются, затрудняется дыхание; человек не может самостоятельно освободиться от электродов. При токе 50–80 *мА* наступает паралич дыхания, а при 90–100 *мА* - паралич сердца и смерть. Поэтому ток 100 *мА* для человека является смертельно опасным.

Менее чувствительно человеческое тело к постоянному току. Его воздействие ощущается при 12–15 *мА*. Ток 20–25 *мА* вызывает незначительное сокращение мышц рук. Только при токе 90–110 *мА* наступает паралич дыхания. Самый опасный – переменный ток частотой 50–60 *Гц*. С увеличением частоты (начиная с 1000–2000 *Гц*) ток начинает распространяться по поверхности кожи, вызывают сильные ожоги, но не приводит к электрическому удару.

Величина тока, проходящего через тело человека, зависит от сопротивления тела и приложенного напряжения. Наибольшее сопротивление току оказывает верхний роговой слой кожи, лишенный нервов и кровеносных сосудов. При сухой неповрежденной коже сопротивление человеческого тела электрическому току равно 40–100 *кОм*. Роговой слой имеет незначительную толщину (0,05–0,2 *мм*) и при напряжении 250 *В* мгновенно пробивается. Повреждение рогового слоя уменьшает сопротивление человеческого тела до 0,8–1 *кОм*. Сопротивление уменьшается также с увеличением времени воздействия тока. Поэтому очень важно быстро устранить соприкосновение пострадавшего с токоведущими частями.

Исход поражения во многом зависит также от пути тока в теле человека. Наиболее опасны пути руки–ноги и рука–рука, когда наибольшая часть тока

проходит через сердце.

На величину сопротивления, а следовательно, и на исход поражения электрическим током большое влияние оказывает физическое и психическое состояние человека. Повышенная потливость кожного покрова, переутомление, нервное возбуждение, опьянение приводят к резкому уменьшению сопротивления тела человека (до $0,8-1\text{ кОм}$). Поэтому даже сравнительно небольшие напряжения могут привести к поражению электрическим током.

Нужно обязательно помнить, что человеческий организм поражает не напряжение, а величина тока. При неблагоприятных условиях даже низкие напряжения ($30-40\text{ В}$) могут быть травмоопасными. Если сопротивление тела человека 700 Ом , то опасным будет напряжение 35 В .

В расчетах принимается в качестве опасного ток 100 мА для переменного тока промышленной частоты.

Опасность (величина) напряжения прикосновения [Ошибка! Источник ссылки не найден.] зависит от времени воздействия и нормируется в зависимости от того, нормальный или аварийный режим работы сети (оборудования). Это обстоятельство учитывают при расчете контура защитного заземления (КЗЗ).

При появлении напряжения на токопроводящих частях (пробой фазы на корпус и т.д.) необходимо снизить потенциал напряжения до безопасных значений [Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Фактически потенциал на оборудовании (напряжение прикосновения) будет определяться мощностью, необходимой для возврата тока на нейтраль трансформатора. Мощность определяется произведением напряжения и силы тока, величины которых связаны с сопротивлением КЗЗ.

Метод «коэффициентов использования» применяют для расчета сопротивления отдельных вертикальных и горизонтальных электродов. Сопротивления электродов складываются параллельно, а для учета взаимного влияния их полей вводятся коэффициенты использования. Таким образом, определяется сопротивление заземлителя в целом. Точность метода зависит от правильного применения этих коэффициентов. Значения их определялись многократно на моделях в электролитических ваннах и в земле для разных конфигураций.

Нейтраль – общая точка обмоток генераторов или трансформаторов, питающих сеть; напряжения на выходных зажимах источника электроэнергии, измеренные относительно нейтрали, равны.

Глухозаземленная нейтраль источника электроэнергии – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ , присоединенная к заземляющему устройству непосредственно или через малое сопротивление.

Изолированная нейтраль – нейтраль генератора или трансформатора в сетях трехфазного тока напряжением до 1 кВ , не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через приборы сигнализации, измерения, защиты и подобные им устройства, имеющие большое сопротивление.

В расчетах необходимо иметь сопротивление КЗЗ в пределах требований безопасности (таблица А1 приложения) [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

Исходные данные. Рассчитать заземляющее устройство трансформаторной подстанции, исходные данные приведены в таблице 2. Подстанция понижающая размещена в отдельном кирпичном здании, имеет два трансформатора с изолированной нейтралью на высокой стороне и с глухозаземленной нейтралью на низкой стороне (0,4 кВ). Предполагаемый контур искусственного заземлителя вокруг здания имеет форму прямоугольника.

В качестве естественного заземлителя будет использована металлическая технологическая конструкция, частично погруженная в землю; ее расчетное сопротивление растеканию принято равным R_e с учетом сезонных изменений.

Таблица 2 - **Исходные данные к решению задачи №1**

№ вар.	U, кВ	Контур заземлителя		R_e , Ом	$l_{кл}$, км	$l_{вл}$, км	$l_в$, м	d, мм	L_T , м	t_0 , м	ρ_{pe} Ом м	ρ_{pg} Ом м
		длина, м	ширина, м									
1	6	15	15	16	75	70	2,5	12	60	0,5	120	176
2	6	20	15	17	80	75	5	12	70	0,8	120	176
3	6	20	20	18	85	80	2,5	12	80	0,5	120	176
4	6	25	20	19	90	85	5	12	90	0,8	120	176
5	6	25	25	20	95	90	2,5	12	100	0,5	120	176
6	10	15	10	21	100	95	5	12	50	0,8	120	176
7	10	15	15	22	105	100	2,5	12	60	0,5	120	176
8	10	20	15	23	110	105	5	12	70	0,8	120	176
9	10	20	20	24	115	110	2,5	12	80	0,5	120	176
10	10	25	20	25	120	115	5	12	90	0,8	120	176
11	6	30	15	25	80	75	2,5	12	90	0,5	120	176
12	6	20	10	15	85	80	5	12	60	0,8	120	176
13	6	15	15	17	70	65	2,5	12	60	0,5	120	176
14	6	25	10	16	95	90	5	12	70	0,8	120	176
15	6	30	20	18	100	95	2,5	12	100	0,5	120	176
16	10	30	30	20	75	70	5	12	120	0,8	120	176
17	10	25	25	25	75	70	2,5	12	100	0,5	120	176
18	10	30	25	16	95	90	5	12	110	0,8	120	176
19	10	35	30	19	75	70	2,5	12	130	0,5	120	176
20	10	20	15	15	80	75	5	12	70	0,8	120	176

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 17

Тема: ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ.

Цель: Изучить устройство, принцип действия, параметры, марки и технические параметры выключателя

Студент должен *знать*:

- устройство, принцип действия, основные технические характеристики выключателя и магнитного пускателя;

уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры магнитного пускателя.

Справочный материал

Магнитные пускатели предназначены для пуска, остановки, реверсирования и тепловой защиты главным образом асинхронных двигателей. Наибольшее применение находят магнитные пускатели с контактными системами и электромагнитным приводом типов ПМЕ, ПМА, ПА (ПАЕ). Пускатели выполняются открытого, защищенного, пылебрызгонепроницаемого исполнения, реверсивные и нереверсивные, с тепловой защитой и без нее.

Пускатели серии ПМА предназначены для управления асинхронными двигателями в диапазоне мощностей от 1,1 до 75 кВт на напряжение 380-660 В. Пускатели серии ПМЕ, ПАЕ обладают коммутационной способностью до $2 \cdot 10^6$ и частотой включений в час до 1200. Выбор контакторов и пускателей осуществляется по номинальному напряжению сети, номинальному напряжению питания катушек контакторов и пускателей, по номинальному коммутируемому току электроприемника.

Магнитные пускатели устроены и действуют в основном так же, как и контакторы, но они более компактны и меньше по габаритам. Промышленностью выпускаются магнитные пускатели с электротепловыми реле или без них.

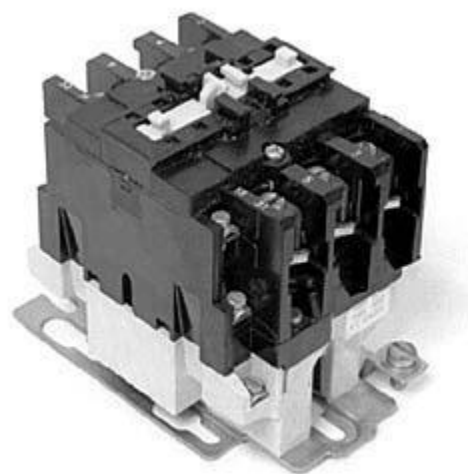
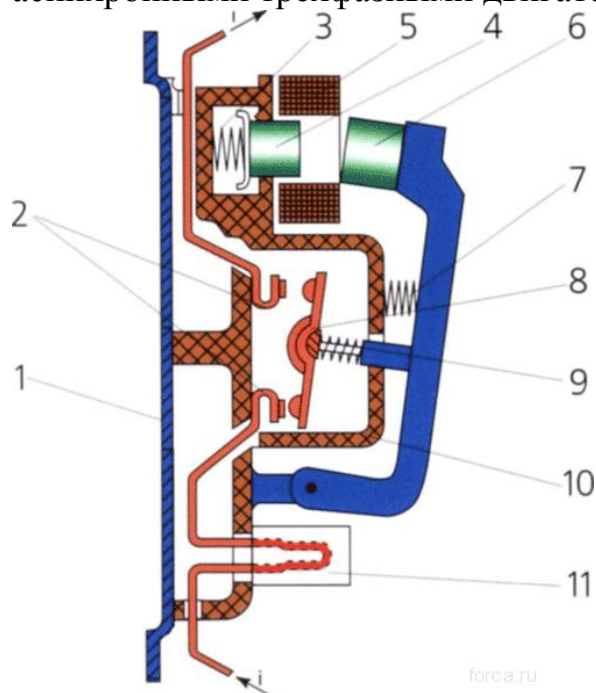
Магнитные пускатели, позволяющие включать двигатель лишь в одном направлении вращения, называют нереверсивными.

Магнитные пускатели, с помощью которых можно изменять направление вращения электродвигателя, называют реверсивными (они состоят из двух нереверсивных пускателей, объединенных конструктивно).

Для включения нереверсивных магнитных пускателей применяют кнопочный нажимной выключатель с одним замыкающим («пуск») и одним размыкающим («стоп») контактами, а для включения реверсивных магнитных пускателей применяется аналогичный выключатель, но с тремя кнопками: «вперед», «назад», «стоп».

Промышленность выпускает магнитные пускатели серий ПА, ПАЕ и ПМЕ. В электроустановках эксплуатируются и магнитные пускатели других серий, выпускавшиеся ранее.

Пускатели серий ПА и ПАЕ используют преимущественно для управления электродвигателями, установленными на металлообрабатывающих и других станках. Пускатели серии ПМЕ применяют для управления асинхронными трехфазными двигателями с короткозамкнутым ротором.



1 - основание; 2 - неподвижные контакты; 3 - пружина; 4 - магнитный сердечник; 5 - катушка; 6 - якорь; 7 - возвратная пружина; 8 - контактный мостик; 9 - пружина; 10 - дугогасительная камера; 11 - нагревательный элемент

Рисунок 13.1 – Общий вид магнитного пускателя

В промышленности применяются магнитные пускатели серий ПМЕ и ПМЛ с прямоходовыми контакторами и серии ПАЕ с подвижной системой поворотного типа.

Тип пускателя обозначают сочетанием букв и цифр. Буквы указывают на серию, а цифры - на величину (габаритные размеры), особенности исполнения, наличие или отсутствие электротеплового реле и на возможность реверсирования:

первая цифра, стоящая после букв, указывает на величину пускателя (чем она больше, тем больше габаритные размеры пускателя); магнитные пускатели серии ПМЕ имеют величину 0, 1 или 2, а серии ПА - от третьей по шестую;

вторая цифра показывает открытое исполнение (1) или защищенное. (2);

по третьей цифре можно одновременно определить, является ли пускатель нереверсивным (1 или 2) или реверсивным (3 или 4) и имеет ли он электротепловое реле (2 или 4) или нет (1 или 3).

Рассмотрим примеры: ПА-314 - магнитный пускатель третьей величины, открытого исполнения, реверсивный, с электротепловым реле; ПА-621 -

магнитный пускатель шестой величины, защищенного исполнения, нереверсивный, без электротеплового реле.

Выборить магнитный пускатель необходимо по следующим данным: номинальная сила тока, номинальное напряжение и условия эксплуатации - требуется или не требуется защищенное исполнение, есть ли необходимость в реверсировании и наличии электротеплового реле.

Ход работы

Оборудование: магнитный пускатель, отвертки.

- 1) Внимательно осмотрите магнитный пускатель.
- 2) Определите тип магнитного пускателя, запишите его технические данные.
- 3) Снимите крышку магнитного пускателя, рассмотрите устройство его основных частей.
- 4) Опишите назначение и устройство магнитного пускателя.
- 5) Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1) Что называют магнитным пускателем?
- 2) Назначение короткозамкнутых витков на сердечнике магнитного пускателя.
- 3) Как маркируются магнитные пускатели?
- 4) Расшифруйте марку магнитных пускателей ПМЕ-211, ПАЕ-613.
- 5) В чем разница между магнитным пускателем и контактором?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Технические данные магнитного пускателя.
- 3) Назначение и устройство магнитного пускателя.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 18

Тема: ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ.

Цель занятия: Ознакомление студентов с конструкциями и приводами разъединителей.

Задание: Рассмотреть конструкцию и устройства следующих аппаратов, а также их привода: разъединитель, выключатель нагрузки, отделитель, автоматический выключатель масляный.

Ход работы

Разъединитель.

Разъединитель – это коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации цепи без тока.

Назначение – создание надежного видимого разрыва цепи для обеспечения безопасного проведения ремонтных работ на оборудовании и токоведущих частях электроустановки.

Разъединитель не имеет дугогасительных устройств, поэтому прежде чем оперировать разъединителем, цепь должна быть отключена выключателем.

Допускается использовать разъединители для отключения и включения незначительных токов: ёмкостных токов шин коротких кабельных линий, токов утечки, токов намагничивания трансформаторов. Допустимость таких операций определяется ПТЭ и местными инструкциями по эксплуатации электроустановки.

Во включенном положении разъединители надёжно выдерживают токи короткого замыкания, гарантированные заводом-изготовителем.

Разъединители для внутренней установки могут быть одно- и трех полюсными. Трех полюсный разъединитель типа РВ изображен на рисунке 5.1.

Разъединители РВ рассчитаны на номинальный ток 400 -1000А, напряжение 6–35кВ.

На подвижных ножах устанавливаются стальные пластины (на рис. 5.1 не указаны), которые играют роль магнитного замка: при протекании токов короткого замыкания через включенный разъединитель они намагничиваются и, притягиваясь, друг к другу, создают дополнительное давление в контакте, препятствуя отбросу ножа от контакта.

Кроме главных ножей, разъединитель может быть снабжен заземляющими ножами (типа РВЗ), которые используют для заземления обесточенных токоведущих частей.

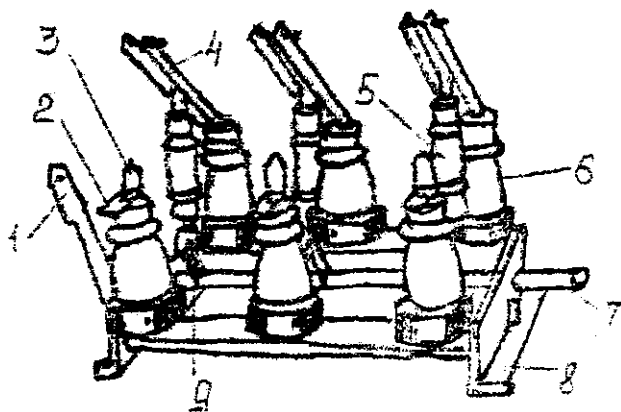


Рисунок 5.1. Трех полюсный разъединитель типа РВ.

Где 1 – приводной рычаг на валу разъединителя;

2 – контакт для присоединения шин;

3 – неподвижный контакт;

4 – подвижный нож;

5 – фарфоровая тяга;

6 – опорный изолятор;

7 – вал разъединителя;

8 – металлическая рама;

9 – поводок фарфоровой тяги

Разъединители для наружной установки должны работать в неблагоприятных условиях окружающей среды (низкие температуры, гололёд, осадки). Этим требованиям отвечают разъединители горизонтально-поворотного типа РИД. Здесь нож состоит из двух частей, закрепленных на опорных колонках изоляторов. При отключении колонки поворачиваются вокруг своей оси в противоположных направлениях, и ножи перемещаются в горизонтальной плоскости, как бы «ломаясь» на две половины, что позволяет разрушить корку льда, которым может быть покрыт контакт.

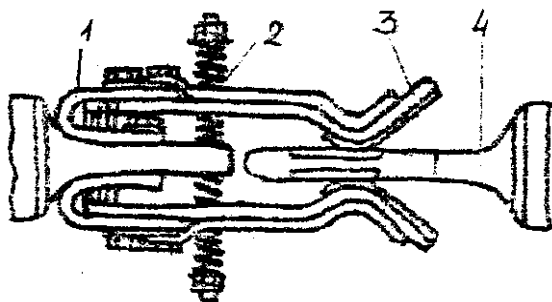


Рисунок 5.2. Контактная система разъединителя горизонтально-поворотного типа для наружной установки РНДЗ-110

1 – гибкая связь; 2 – пружины; 3 – одна часть ножа в виде пружинящих помелей;

4 – другая часть ножа в виде лопатки.

В распределительных устройствах высоких напряжений применяются и другие типы разъединителей: вертикально-поворотные, подвесные.

Отделитель.

Отделитель – коммутационный аппарат, предназначенный для автоматического отключения поврежденного участка линии или трансформатора после искусственного короткого замыкания, а так для отключения и включения токов (индуктивных) холостого хода трансформаторов и ёмкостных токов нагруженных линий.

Внешне отделитель не отличается от двух колонкового разъединителя, но у него для отключения имеется пружинный привод (ПРО), который обеспечивает отключение за 0,4–0,5 с. Включение отделителя производится вручную.

Отделители могут иметь заземляющие ножи.

Отделители не могут отключать ток нагрузки и ток короткого замыкания, поэтому в схемах управления отделителями имеется блокировка, которая запрещает отключение отделителя, если через трансформаторы тока проходит ток.

При неблагоприятных погодных условиях (мороз, гололёд) применяют закрытые отделители (ОЭ), контактная система которых расположена внутри

фарфорового корпуса, заполненного элегазом SF_6 с избыточным давлением 0,3 МПа. Высокая электрическая прочность элегаза обеспечивает небольшие габариты и надежную работу аппаратов.

Выключатели нагрузки.

Выключатель нагрузки – коммутационный аппарат, предназначенный для отключения и включения токов нагрузки в нормальном режиме.

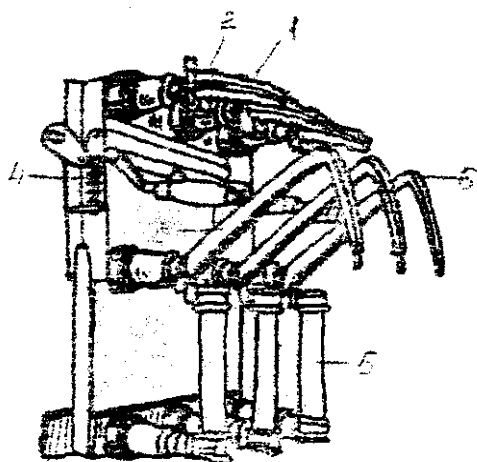


Рисунок 5.3 Выключатель нагрузки ВНП-16.

1 – дугогасительная камера; 2 – неподвижный контакт; 3 – подвижный контакт; 4 – отключающая пружина; 5 – плавкий предохранитель; 6 – дугогасительный контакт.

Выключатели нагрузки предназначены для отключения и включения цепей под нагрузкой в электрических установках напряжением 6–10 кВ при небольшой мощности ($I_{ном}=200+400$ А) и не рассчитаны на отключение токов короткого замыкания. Выключатель нагрузки в комплекте с высоковольтными предохранителями типа ПК-6 или ПК-10 обеспечивает защиту цепей от токов короткого замыкания.

Этот выключатель представляет собой трех полюсный разъединитель внутренней установки на 6–10 кВ, к каждой фазе которого построена из пластмассы дугогасительная камера. Внутри камеры расположены газогенерирующие вкладыши из органического стекла. Подвижный контакт перемещается внутри вкладыша. Гашение дуги происходит в дугогасительной

камере. При отключении цепи под нагрузкой между контактами выключателя образуется электрическая дуга, температура в дугогасительной камере резко возрастает, и органическое стекло выделяет поток газов, который гасит дугу.

Выключатели нагрузки выпускаются без предохранителей типа ВН-16 и с предохранителями типов ВНП-16 и ВНП-17 (рис. 5.3).

При включении сначала замыкаются дугогасительные контакты, а затем главные. Вкладыши без замены позволяют отключить 300 раз ток 50А, 500 раз ток 100А, и 3 раза ток 400А.

Выключатели нагрузки могут иметь заземляющие ножи (типы ВН_З -16, ВНП_З -16, ВНП_З -17).

Привод ВН может быть ручным (ПР), ручным с дистанционным отключением (ПРА) или электромагнитным (ПЭ) с дистанционным включением и отключением.

Выключатели нагрузки применяются в ячейках КСО в системе электроснабжения промышленных предприятий, городов, строительных площадок.

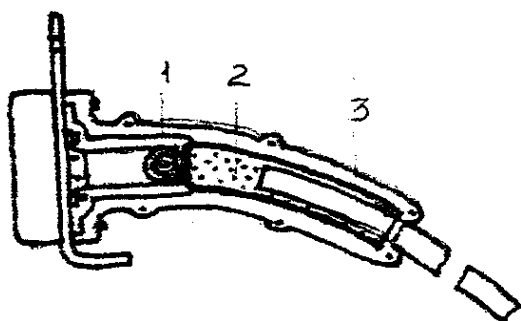


Рисунок 5.4. Дугогасительная камера выключателя нагрузки ВН-10

Где: 1 – пружинящие контакты; 2 – газогенерирующие вкладыши; 3 – дугогасительный контакт

Вакуумный выключатель нагрузки ВНВ-10/320 изготавливается на напряжение 6 и 10кВ и номинальные токи до 320А. Он предназначен для многократного отключения тока 900А и предельно отключаемый ток 2кА. Основной его частью является вакуумная дугогасительная камера КДВ-21. Выключатель ВНВ предназначен для установки в шкафах КРУ и применяется в

горнодобывающей промышленности, на пунктах, питания экскаваторов, драг, в рудничных, установках, для коммутации дуговых печей.

Автоматический выключатель маломасляный.

Масляные выключатели являются коммутационным аппаратом для включения и отключения электрических цепей напряжением выше 1кВ при рабочем режиме и при перегрузках и коротких замыканиях.

В маломасляных выключателях (горшковых) для каждой фазы имеется отдельный стальной шлендр, в котором разрываются контакты, и гасится дуга. Гашение происходит в дугогасительной камере, установленной в цилиндре в месте разрыва контактов. Камера изготавливается из изоляционных материалов – фибры или гетинакса. Минеральное масло в выключателях служит для гашения дуги и изоляции промежутка между разомкнутыми контактами данной фазы.

Количество масла в масляных выключателях от 4,5 до 10 кг в зависимости от типа выключателя. Это делает их невзрыво – не пожароопасными и позволяет устанавливать в открытых камерах распределительных устройств напряжением выше 1кВ.

В городских сетях широко применяются выключатели типа ВМП-10 и ВМГ-10.

Выключатели серии ВМП-10 изготавливаются на номинальные токи 600, 1000, 1500, 3000А и имеют вес масла 4,5 кг. Выключатели ВМГ-10 изготавливается на номинальные токи 630 и 1000А.

Масляные выключатели могут включаться и отключаться вручную и автоматически под действием аппаратов защиты и управления.

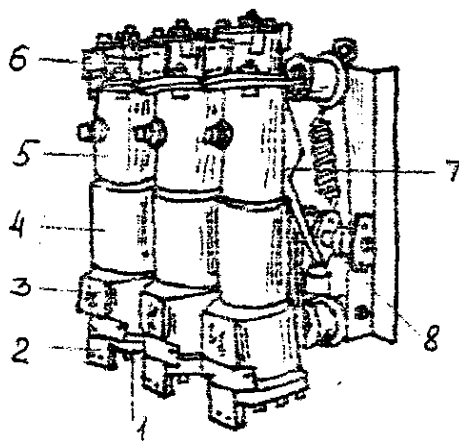


Рисунок 5.5 Масляный выключатель ВМП-10

Где: 1 – крышка; 2,6 – зажимы; 3 – фланец; 4 – бак; 5 – корпус; 7 \ - изолирующая тяга; 8 – вал.

Внутри каждого полюса имеется неподвижный контакт розеточного типа и подвижный контактный стержень. Во включенном положении контактный стержень находится в розеточном контакте. При отключении он движется вверх, контакты размыкаются, образуется дуга, которая испаряется и разлагает масло. Давление резко возрастает, в дугогасительной камере создается поперечное дутье газами и парами масла, в результате чего дуга гаснет. Контакты выключателя облицованы металлокерамикой для увеличения их дугостойкости.

Приводы

Приводы выключателей служат для включения, удержания во включенном положении и отключения выключателей. При включении привод совершает значительную работу, связанную с затратой энергии на преодоление сил трения в механизме и передаче, сил тяжести движущихся частей, сопротивления отключающих пружин. При отключении работа привода направлена на освобождение механизма, удерживающего выключатель во включенном положении. Само отключение происходит за счет сжатых или растянутых отключающих пружин.

1) Ручные приводы применяются для маломощных выключателей, когда мускульной силы оператора достаточно для совершения работы включения.

Отключение дистанционное и автоматическое. Наиболее распространены приводы ПРА-17 для выключателей нагрузки ВН-10.

Ручной привод типа ПР-10, представляющий рычажно-шатунный механизм прямого, применяется для ручного управления разъединителями внутренних электроустановок 6–10 кВ.

На подстанциях небольшой мощности для управления масляными выключателями используют ручные приводы типа ПРБА (привод рычажной блинкерный с автоматическим отключением).

2) Пружинный привод является приводом косвенного действия. Энергия для включения запасается в мощной пружине, которая заводится от руки или от двигателя. Типы приводов для управления масляными выключателями: ПП-67 и ППМ-10. Достоинства: просты, удобны в обслуживании, дешевы, потребляют незначительную мощность, надёжны.

Время завода пружин – 15 секунд. Отключение производится отключающими пружинами выключателя дистанционно или автоматически.

Пружинный привод применяется в маломасляных выключателях ВМПП-10, ВМТ – 110, в вакуумных выключателях ВВТП-10.

3) Электромагнитный привод – привод прямого действия: энергия для включения сообщается приводу в процессе самого включения от источника постоянного тока. Усилие для включения выключателя создается стальным сердечником, катушка которого получает питание от источника постоянного тока. Для маломасляных выключателей применяется привод ПЭ-11, для более мощных выключателей – ПЭ-21, ПЭ-31, а для наружной установки – ШПЭ-44, ШПЭ-45. Недостаток – необходимость для их работы аккумулятора или выпрямителя.

4) Пневматические приводы создают усилие на включение за счет сжатого воздуха, который подается в пневматический цилиндр с

поршнем, заменяющий электромагнит включения. Такие приводы требуют установки компрессоров.

Пневматические приводы обычно применяются для выключателей 110 и 220 кВ.

5.4.6 Условно графические обозначения в электрических схемах.

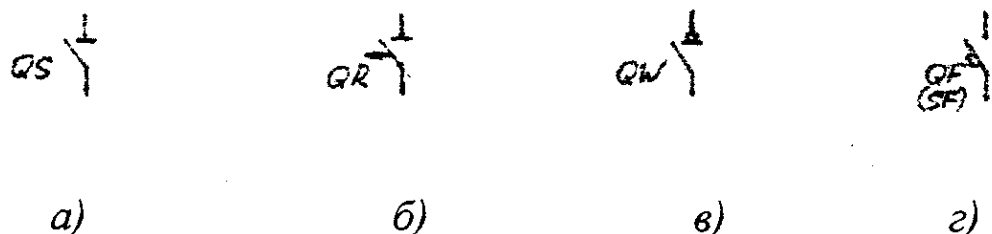


Рисунок 5.6. Условно графические обозначения:

а) – разъединитель; б) – отделитель; в) – выключатель нагрузки; г) – выключатель автоматический (QF – в силовых цепях, SF – в цепях управления).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 19

Тема: ВЫБОР ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ, РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ.

Цель работы: изучение устройства распределительного устройства 10 кВ серии RM6, произвести настройки электронного устройства релейной защиты силового трансформатора типа VIP-30 (максимальная токовая защита и токовая отсечка) и VIP-300 (максимальная токовая защита, токовая отсечка и защита от к.з. на землю) при использовании устройства VAR6.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В качестве комплектного распределительного устройства (КРУ) высшего напряжения (ВН) в комплектной трансформаторной подстанции с двумя трансформаторами (2КТП) применяется малогабаритное КРУ типа RM6 на 4 или 3 присоединения. Конструктивно КРУ типа RM6 выполнено в общем герметичном сварном корпусе из нержавеющей стали (рисунок 1), который, заполнен элегазом (SF_6) с избыточным давлением 20 кПа. Внутри корпуса размещены сборные шины, выключатели нагрузки линейных присоединений и выключатель присоединения трансформатора. Основные параметры и характеристики элементов КРУ ВН типа RM6 даны в таблице 1.



Рисунок 8.1- Комплектное распределительное устройство (КРУ) типа RM6 на 4 присоединения.

Таблица 1-Технические характеристики

Рабочее напряжение сети, кВ	6/10
1. Испытания промышленной частотой 50 Гц 1 мин, кВ	42
2. испытание импульсным напряжением 1.2/50 мкс, кВ	95
Сетевой выключатель нагрузки (функция I)	
1. Номинальный ток, А	400-630
2. Ток термической стойкости, кА (1с)	21-25
3. Ток динамической стойкости, кА (мгн.)	52,5
Защита трансформатора	
Номинальный ток, А	200
Выключатель нагрузки с плавким предохранителем (функция Q)	
1. Ток отключения, кА	21-25
2. Ток динамической стойкости, кА (мгн.)	52,5-62,5
Выключатель (функции D)	

1. Ток отключения, кА	21-25
2. Ток динамической стойкости, кА (мгн.)	52,5- 62,5
Выключатель защиты линии (функция В)	
1. Номинальный ток, А	630
2. Ток отключения выключателя, кА	21
3. Ток динамической стойкости, кА (мгн.)	52,5

1

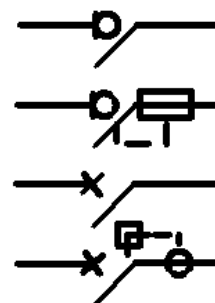


Рисунок 2 – обозначения элементов распределительного устройства на принципиальных схемах

1- сетевой выключатель нагрузки (I)

2 - защита трансформатора: комбинация выключателя нагрузки и плавкого предохранителя

3 – защита трансформатора: выключатель 200 А

4 – защита линии: выключатель 630 А

Выключатель нагрузки линейного присоединения (ячейка типа I) рассчитан на номинальный ток 630 А.

Гашение электрической дуги осуществляется на основе принципа автодутья в элегазе. На принципиальных электрических схемах и компоновка оборудования такие выключатели нагрузки обозначаются как ЛВН («линейный», т.е. в линейном присоединении), либо СВН («секционный», т.е. в перемычке между секциями КРУ), либо ШВН («шиносоединительный»).

Элегазовый выключатель в цепи трансформатора (ячейка типа D) рассчитан на номинальный ток 200 А.

Гашение электрической дуги осуществляется методом вращающейся дуги и автокомпрессии в элегазе, что позволяет отключать как номинальные токи, так и токи короткого замыкания. Кроме того, ячейка типа **D** отличается от ячейки типа **I** наличием встроенного электронного устройства релейной защиты силового трансформатора типа VIP-30 (максимальная токовая защита и токовая отсечка) и VIP-300 (максимальная токовая защита, токовая отсечка и защита от к.з. на землю). На принципиальных электрических схемах компоновка оборудования такие выключатели обозначены как ВЭ («выключатель элегазовый»)

Оба коммутационных аппарата совмещают в себе функции двух устройств – собственно выключателя и заземляющего разъединителя.

Подвижные контакты такого аппарата могут находиться в трех положениях (рисунок 2): «**включено**», «**отключено**», «**заземлено**».

Выключатели обоих типов имеют ручной пружинный привод, который при необходимости дистанционного управления может быть дополнен мотор-редуктором. Проходные изоляторы выводов выключателей установлены на высоте 960 мм от пола, позволяет легко производить формирование и присоединение жил как одножильных, так и трехжильных кабелей. В связи с тем, что расстояние между выводами по воздуху всего 80 мм, присоединения жил кабелей выполняются через изоляционные адаптеры. Место присоединения кабеля (кабельный отсек КРУ) закрывается металлическим защитным кожухом. В проходные изоляторы выводов выключателей встроены емкостные делители напряжения, соединенные с индикаторами наличия напряжения. В корпусах индикаторов напряжения установлены неоновые контрольные лампы, а также имеются специальные гнезда для проведения «горячей» фазировки.

На переднюю панель (пластрон) RM6 нанесена **мнемосхема**, показывающая положение аппаратов моноблока. Непосредственно на управляющем валу, жестко связанном с подвижными контактами выключателя, расположен указатель положения коммутационного аппарата, однозначно и гарантированно указывающий одно из трех положений подвижных контактов.

Все присоединения имеют весь необходимый **набор блокировок**, исключающих ошибочные действия персонала.

Предусмотрена возможность проверки изоляции, испытания и определения места повреждения ВН без отсоединения их от распределительного устройства. В каждой ячейке RM6 операция одновременного включения выключателя на сборные шины и включения заземляющего разъединителя конструктивно невозможна.

Независимый расцепитель получает сигнал на отключение от щитка тепловой защиты трансформатора (для «сухих» трансформаторов) или от электроконтактного термометра (для «масляных» трансформаторов).

Преимущества RM6

- полная безопасность электроустановки и персонала;
- наличие видимого разрыва;
- малые габариты, позволяющие уменьшить площадь подстанции в 2-3 раза; удобство подключения кабеля; простота обслуживания.

Номинальное напряжение: 6, 10 кВ

Номинальный ток: 200-630 А

Номинальный ток отключения (выключателя): 16-25 кА

Климатическое исполнение: от -25 °С до +40°С

Компактное распределительное устройство 6, 10, 20 кВ Серия RM6



Рисунок 8.2- Компактное распределительное устройство (КРУ) типа RM6 на 3 присоединения.

Моноблок RM6 - это аппарат, который полностью обеспечивает:

- безопасность персонала
- стойкость к внутренней дуге
- видимое положение главных контактов

Аппарат на три положения, обеспечивающий естественную блокировку от неправильных действий.

- указатель гарантированного положения контактов аппарата
- устойчив к воздействию окружающей среды
- кожух из нержавеющей стали
- степень защиты IP67
- отдельные металлизированные герметичные шахты для плавких предохранителей

Отличается высоким качеством в соответствии международным стандартам и нормам ГОСТ, сертификат качества конструирования ISO 9001, сертификат качества производства ISO 9002, аттестация производства по международным экологическим нормам ISO 14001. Успешный опыт эксплуатации 450 000 установленных устройств во всем мире.

- экологически безопасен
- возможность утилизации элегаза по истечении срока эксплуатации
- удобен и прост в монтаже

Удобное подсоединение кабелей с передней стороны с высоким расположением точек подключения.

- простота крепления к полу с помощью четырех болтов

Экономичен от 1 до 4 присоединений помещены в единый герметичный металлический корпус, где изоляционной и дугогасящей средой является элегаз.

- срок службы - 30 лет
- не требует обслуживания в течение всего срока эксплуатации

Устройство изготовлено, собрано, заполнено элегазом и "запаяно" на весь срок службы на заводе.

- имеет малые габариты

Во всех случаях, когда неблагоприятное воздействие окружающей среды, а также требования компактности и безопасности определяют, с одной стороны, использование герметичных моноблоков RM6, а, с другой стороны, развитие сети требует увеличения числа присоединений на подстанции, новое поколение RM6 предлагает идеальное решение - возможность наращивания новых функций. Расширение RM6 осуществляется простым добавлением одного или нескольких функциональных блоков, которые соединяются между собой на уровне сборных шин с помощью втычных экранированных контактов, при этом сохраняется целостность заводских моноблоков. Это очень простая операция, легко производимая на месте, которая не требует никакой работы с элегазом, специального инструмента и приспособлений, специальной подготовки пола. Единственным техническим ограничением по расширению RM6 является номинальный ток сборных шин.

Выбрать RM6 - значит воспользоваться опытом мирового лидера в области производства моноблоков для распределительных сетей.

Распределительное устройство 6, 10, 20 кВ Серия SM6



Рисунок 8.3- Модульная ячейка SM6

SM6 - серия модульных ячеек в металлических корпусах с воздушной изоляцией и стационарными (выкатными) элегазовыми коммутационными аппаратами, а именно:

- выключателями нагрузки
- выключателями Fluarc типа SF1 или SFset
- контакторами RoParc 400 или 400D
- разъединителями

Ячейки SM6 устанавливаются на стороне высокого напряжения в РП и РТП 6, 10 кВ, принадлежащих энергоснабжающей организации и (или) частной компании (подстанция абонента). В дополнение к своим техническим характеристикам ячейки серии SM6 удовлетворяют всем требованиям безопасности персонала и оборудования, просты и удобны в монтаже и эксплуатации.

Ячейки SM6 предназначены для внутренней установки (IP2XC). Они компактны и имеют следующие размеры:

ширина	-	от	375	до	750	мм;
высота		-			1600	мм;
глубина		-			840	мм,

что обеспечивает возможность их размещения в небольших помещениях или подстанциях, полностью собранных на заводе. Подключение кабелей осуществляется спереди. Все органы управления расположены на передней панели, что упрощает эксплуатацию. Ячейки могут быть укомплектованы рядом дополнительных устройств (реле, трансформаторы тока нулевой последовательности, измерительные трансформаторы и т.д.).

Стандарты:

Ячейки серии SM6 удовлетворяют следующим рекомендациям, нормативным требованиям, и спецификациям:

рекомендации:	МЭК	298,	265,	129,	694,	420,	56;
стандарты	UTE:	NFC	13.100,	13.200,	64.130,	64.160;	
стандарт	ГОСТ:		12.2.007.4-75,		12.2.007.0-75;		

спецификации ЭДФ: HN 64-S-41, 64-S-43.

Обозначения:

Ячейки серии SM6 обозначаются кодом, состоящим из следующих элементов:

обозначение функции, то есть код применяемой электросхемы: IM - QM - DM1
 - CM - DM;
 номинальный ток: 400 - 630 - 1250 А;
 номинальное напряжение: 7,2 - 12 - 17,5 - 24 кВ;
 максимальное значение тока термической стойкости при допустимой кратковременной перегрузке: 12,5 - 16 - 20 - 25 кА/1 с.

Серия SM6
Три отсека ячейки

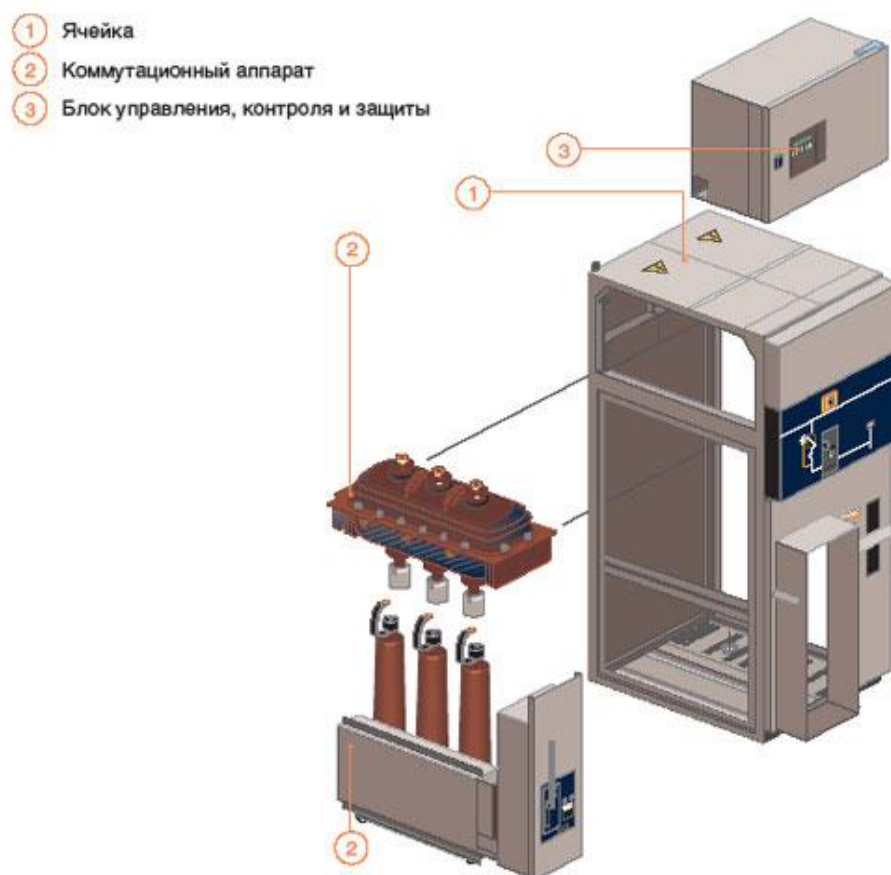


Рисунок 8.4 - Устройство модульной ячейки SM-6

Пример:

В обозначении ячейки IM 400 - 24 - 12,5:
IM указывает, что речь идет о вводной или ячейке отходящей линии;
400 означает величину номинального тока - 400 А;
24 означает величину номинального напряжения - 24 кВ;
12,5 означает максимальную величину тока короткого замыкания - 12,5 кА / 1 с.

Распределительные подстанции и распределительные трансформаторные подстанции

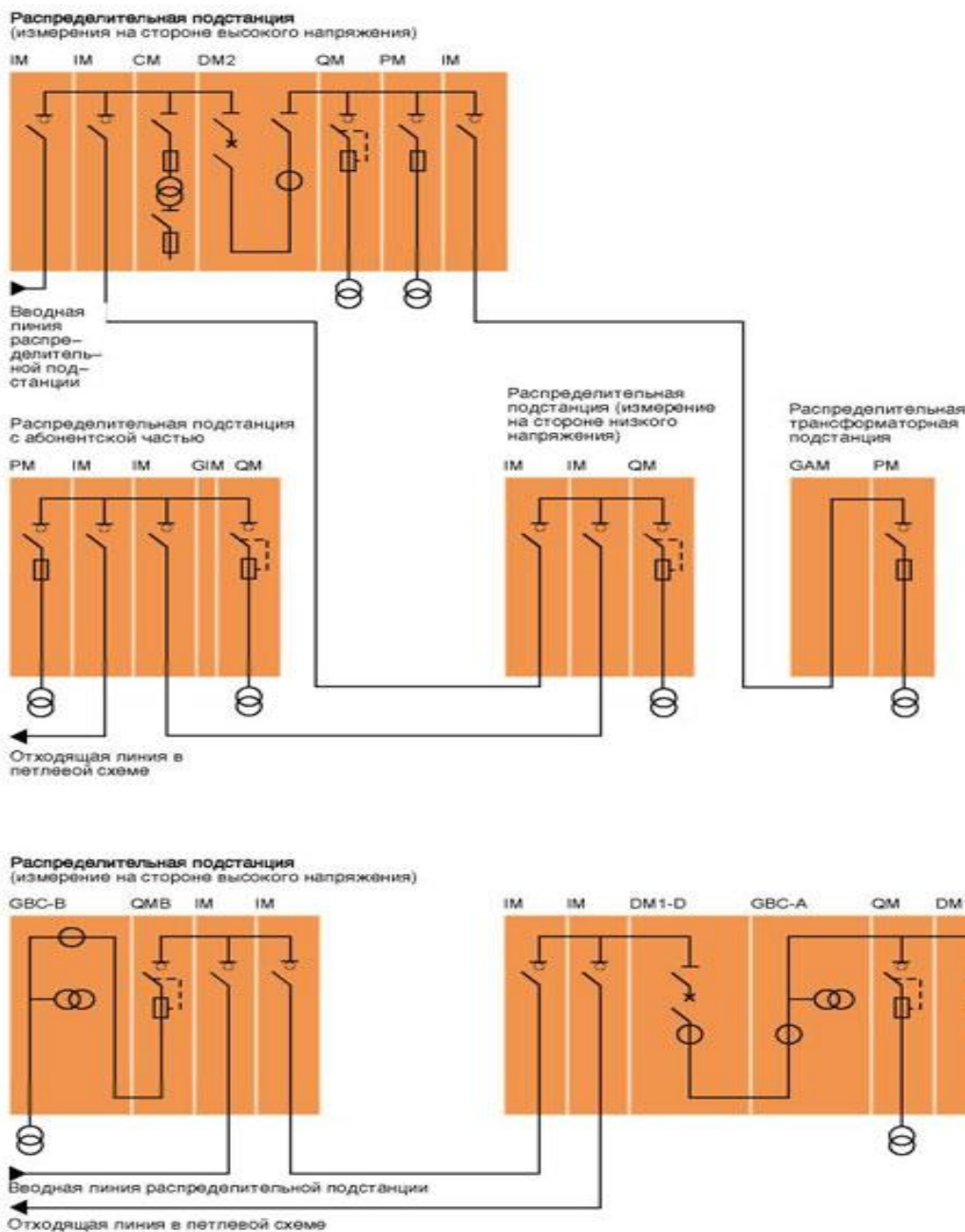


Рисунок 8.5- Схемы подключения модульной ячейки SM6

Ниже приводится перечень различных ячеек серии SM6, используемых в трансформаторных подстанциях 10, 6/0,4 кВ и промышленных распределительных подстанциях:

IM, IMC, IMB: вводные ячейки или ячейки отходящей линии;
PM: ячейка выключателя нагрузки с плавким предохранителем;
QM, QMC, QMB: ячейки с комбинацией «выключатель нагрузки-плавкий предохранитель»;

CRM: ячейка контактора и контактора с предохранителями;
DM1-A, DM1-D: ячейки выключателя;

DM1-W, **DM1-Z:** ячейки вакантного выключателя;
DM2: ячейка выключателя с двумя разъединителями;
CM, **CM2:** ячейка трансформатора напряжения;
GBC-A, GBC-B: измерительные ячейки трансформаторов тока и/или напряжения;
NSM-кабели: ячейка кабельных основного и резервного вводов;
NSM-шины: ячейка основного ввода шинами и кабельного резервного;
GIM: разделительная ячейка (соединение шинами);
GEM: ячейка расширения;
GBM: соединительная ячейка;
GAM2, GAM: ячейка подвода кабеля;
SM: ячейка разъединителя;
TM: ячейка трансформатора собственных нужд;

Контрольные вопросы

- 1) Принцип работы распределительного устройства на 10 кВ (RM-6)?
- 2) Где устанавливается РУ и его функциональные возможности RM-6?
- 3) Типы РУ и их схемное подключение.
- 4) Каким образом производится фазировка и проверка системы защиты VIP300?
- 5) Каким образом происходит управление РУ?
- 6) Какие типы распределительных устройств бывают?
- 7) Начертить эскизы подключения РУ (RM-6)?
- 8) Принцип работы модульной ячейки SM-6?
- 9) Схемы подключения и места установки SM-6?
- 10) Произвести обзор всех распределительных устройств, применяемых в России?
- 11) Основные особенности применения РУ?
- 12) Физика процесса дугогашения в вакууме, элегазе, масле и воздухе?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 20

Тема: ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ.

Цель: Изучить параметры трансформатора, устройство и принцип действия реле переменного тока типа РТ-40, постоянного тока типа и напряжения типа РН-50.

Студент должен *знать*:

- классификацию реле;
- устройство и принцип действия реле тока и напряжения;

уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры реле;
- подключать реле в электрические схемы.

Справочный материал

В качестве воспринимающего органа в электромагнитных реле используются электромагнитные механизмы относительно простых конструкций и позволяющие реализовать разнообразные тяговые характеристики, согласующиеся с механическими характеристиками. Электромагнитные механизмы имеют сравнительно большие тяговые усилия при относительно малых габаритах, что и обуславливает их наиболее широкое применение в реле. На электромагнитном принципе осуществляется работа реле тока (максимального и минимального), реле напряжения (максимального, минимального, сигнальные, промежуточные и др.), реле времени, реле частоты и другие типы реле, применяемые в схемах защиты, управления электроприводами, автоматики.

Промежуточный орган реле - пружина, исполнительный орган - контактная система.

В зависимости от хода якоря различают следующие типы реле: клапанного типа (якорь притягивается с внешней стороны магнитопровода), соленоидного типа (якорь втягивается внутрь), поворотного типа (якорь имеет внешнее поперечное относительно силовых линий магнитного поля движение).

Реле мгновенного косвенного действия типов РТ-40 и РН-50. По роду физической величины реле разделяются на реле тока (РТ-40) и реле напряжения (РН-50). По способу воздействия на объект управления реле являются косвенными, по способу включения - вторичными, по ходу якоря - поворотными. Реле применяют в цепях защиты электроустановок.

Конструкция реле показана на рисунке 14.1. Реле предусматривает следующие элементы: электромагнит 12 с обмоткой 1, состоящей из двух катушек, расположенных на верхнем и нижнем стержнях электромагнита; стальной якорь 10, жестко установленный на двух полюсах 3; подвижные контактные мостики 4, закрепленные на якоре с помощью изоляционной колодки; спиральную противодействующую пружину 9, установленную на держателе 8, связанную внутренним концом с осью якоря; неподвижные пары контактов 14 (правая), 13 (левая), расположенные на изоляционной колодке 5; упорные винты 11 (левый, правый), ограничивающие ход якоря; шкалу уставок 6; указатель уставок (поводок) 7; гаситель вибраций 2.

При прохождении по обмоткам тока электромагнит, преодолевая противодействие спиральной пружины, притягивает якорь к полюсам, т. е. разворачивает якорь вместе с полюсами по часовой стрелке. При отсутствии тока в обмотке или при его значении, меньшем, чем ток срабатывания, якорь находится в крайнем левом положении. При возрастании тока якорь втягивается под полюсы и поворачивает подвижные контактные мостики, которые размыкают правую пару контактов и замыкают левую пару контактов. Реле срабатывает.

Уставка срабатывания токовых реле РТ-40 регулируется поводком 7, который изменяет натяжение пружины, а также изменением соединения катушек (последовательно или параллельно), что изменяет пределы шкалы в 2 раза. Обозначенные на шкале уставки соответствуют последовательному

соединению катушек. При параллельном соединении уставки реле удваиваются. Коэффициент возврата максимальных реле не менее 0,8 и минимальных - не более 1,2.

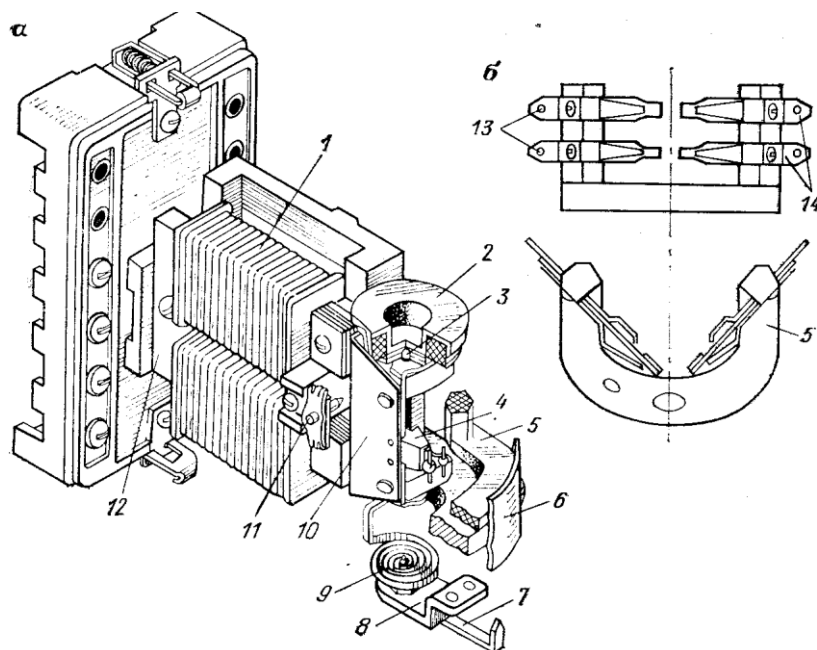


Рисунок 14.1- Электромагнитное реле типов РТ-40 и РН-50

При работе реле во время удара якоря об упоры контакты токовых реле РТ-40 вибрируют. Для гашения вибраций имеется гаситель, представляющий собой небольшой полый цилиндр, закрепленный на одной оси с якорем и заполненный песком. При срабатывании реле песок поглощает энергию удара якоря об упоры, предотвращая тем самым отскакивание и вибрацию контактов.

Реле напряжения РН-53 и РН-54 выполняются конструктивно как и реле РТ-40 (см. рисунок 14.1) и отличаются только отсутствием гасителя вибрации. Для предотвращения вибрации контактов катушки реле включены через однофазный мостовой выпрямитель. Протекание через обмотки тока одного направления снижает вибрацию контактов в режиме длительного включения.

Реле РН-53 имеет $k_{\text{в}}$ не ниже 0,8; а реле РН-54 не выше 1,25. Кроме рассмотренных, выпускаются также реле напряжения постоянного тока РН-51 и реле напряжения переменного тока РН-58 с повышенным коэффициентом возврата - 0,95.

Уставка срабатывания реле РН-50 регулируется посредством изменения натяжения пружины с помощью поворота поводка 7. Уставка срабатывания регулируется также с помощью включения одного или двух дополнительных резисторов в цепь обмотки реле.

Электромагнитные реле управления электроприводами и автоматики. В схемах управления электроприводами применяются реле постоянного тока РЭВ-300, выполняемые и как реле напряжения, и как реле тока (рисунок 14.2).

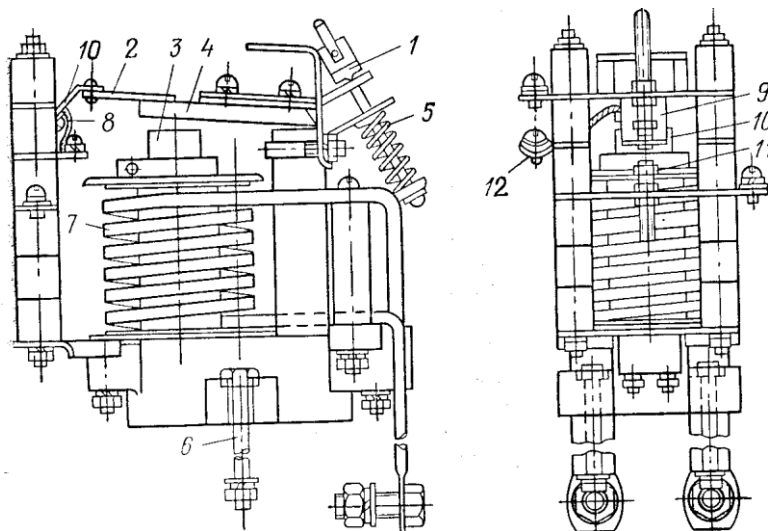


Рисунок 14.2 - Электромагнитное реле РЭВ-300

Основные элементы реле: магнитопровод *U*-образной формы 3, якорь 4, обмотка 7, крепежная деталь 6, возвратная пружина 5, регулировочная гайка 1, подвижной контакт 10 на изоляционной пластине 2, неподвижные контакты 9 и 11, клеммы 12, гибкая связь подвижного контакта с клеммой 8.

Реле обладает высоким коэффициентом возврата, так как имеет достаточно большой конечный зазор и небольшой ход якоря. Коэффициент возврата регулируется изменением конечного зазора и хода якоря с помощью изменения положений контактов 9 и 11. При опускании контакта 9 уменьшается ход якоря, при подъеме контакта 11 увеличивается конечный зазор.

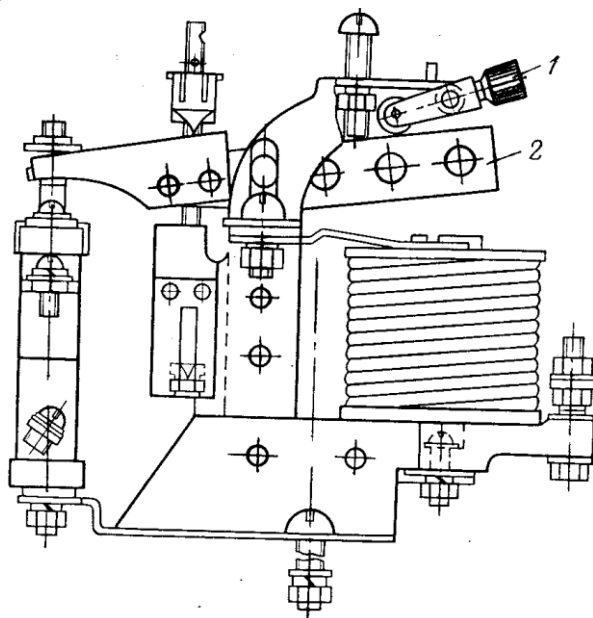


Рисунок 14.3 - Электромагнитное реле переменного тока без самовозврата

В ряде схем электроприводами управляют не с помощью самовозвратных кнопок, а с помощью командоконтроллера. В этом случае защита цепей двигателей должна производиться реле без самовозврата. В противном случае

реле максимального тока, отключившись после снятия напряжения контактором, вновь подаст сигнал на включение при неустраненном коротком замыкании. При этом произойдут повторное срабатывание реле и отключение схемы контактором и т. д. Для предотвращения этого реле не должно иметь самовозврата в исходное положение.

Отличительная особенность электромагнитного токового реле без самовозврата (рисунок 14.3) - наличие защелки 1, левая часть которой тяжелее правой. При притяжении якоря 2 защелка под действием своего веса поворачивается против часовой стрелки и запирает якорь в притяннутом положении. Возвращение реле в исходное положение после срабатывания возможно вручную.

Ход работы

Оборудование: Реле тока РТ-40, реле напряжения РН-50, РЭВ-300.

- 1) Определите тип реле и запишите его технические данные.
- 2) Снимите крышку реле и рассмотрите устройство его основных частей.
- 3) Опишите устройство и принцип действия реле времени.
- 4) Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1) Дать определение реле.
- 2) Перечислите требования к реле.
- 3) Какой материал применяется для изготовления контактов?
- 4) Перечислите типы реле в зависимости от хода якоря.
- 5) Чем опасна вибрация контактов реле РТ-40 и что используется для гашения вибрации?
- 6) Чем отличаются реле постоянного тока от реле переменного тока?
- 7) Перечислите основные элементы реле РЭВ -300.
- 8) Как должна производиться защита цепей электродвигателя при управлении им с помощью командоконтроллера и почему?
- 9) В каких пределах находится время действия обыкновенных реле?

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Типы реле и его технические параметры.
- 3) Устройство и принцип действия реле.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 21

Тема: ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ.

Цель работы:

- Изучить режимы работы измерительных трансформаторов.
- Понять принцип работы измерительных трансформаторов.

Теоретические сведения:

Измерительные трансформаторы подразделяются на трансформаторы тока и напряжения и предназначены соответственно для преобразования больших переменных токов и напряжений в относительно малые токи и напряжения. Благодаря трансформаторам можно применять приборы с небольшими стандартными номинальными значениями тока и напряжения (например, 5 А и 100 В) в высоковольтных цепях, по которым могут протекать большие токи.

Измерительные трансформаторы состоят из двух изолированных друг от друга обмоток, помещенных на магнитопроводе: первичной с числом витков w_1 , и вторичной с числом витков w_2 (рис.1 а, б).

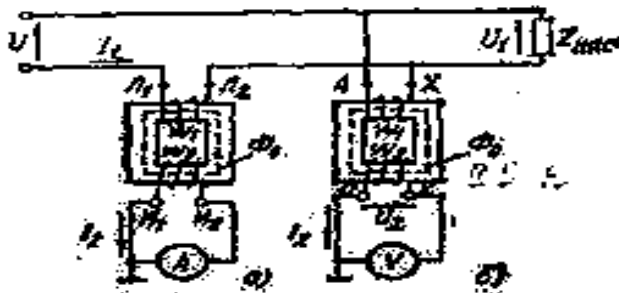


Рис.1 Схема включения измерительных трансформаторов:
а) трансформатор тока; б) трансформатор напряжения

При измерениях в высоковольтных цепях трансформаторы обеспечивают безопасность обслуживания приборов, присоединенных к вторичным обмоткам. Это достигается за счет электрической изоляции (гальванического разделения) первичной и вторичной обмоток трансформаторов и заземления металлического корпуса и вторичной обмотки. При отсутствии заземления и повреждении изоляции между обмотками вторичная обмотка и подключенные к ней приборы окажутся под высоким потенциалом, что недопустимо.

В трансформаторах тока, как правило, первичный ток I_1 больше вторичного I_2 . Первичная обмотка выполняется из провода различного сечения в зависимости от номинального первичного тока $I_{ном}$. Если $I_{ном}$ превышает 500 А, она может состоять из одного витка в виде прямой медной шины (или стержня), проходящей через окно сердечника. Вторичная обмотка у всех стандартных трансформаторов тока наматывается из проводов небольшого сечения. В соответствии с ГОСТ 7746-78Е вторичный номинальный ток $I_{2ном}$ может быть 1; 2; 2.5; 5 А при значениях $I_{1ном}$ в пределах от 0.8 до 40000 А.

В трансформаторах напряжения первичное напряжение U_1 больше вторичного U_2 , потому у них $w_1 > w_2$. Обе обмотки выполняются из относительно тонкого провода (первичная из более тонкого, чем вторичная). Вторичное номинальное напряжения $U_{2ном}$ у стационарных трансформаторов составляет 100 и $100/\sqrt{3}$ В при первичном номинальном значении $U_{1ном}$ до $750/\sqrt{3}$ В.

По схемам включения в измеряемую цепь и условию работы трансформаторы тока и напряжения отличаются друг от друга.

Первичная обмотка трансформаторов тока, выводы которой обозначены буквами Л₁ и Л₂ (линия), включается в измеряемую цепь последовательно (рис. 1а). Ко вторичной обмотке, выводы которой обозначаются буквами И₁, И₂ (измерение), последовательно подключают амперметры, последовательные обмотки ваттметров, счетчиков и других приборов.

Первичная обмотка трансформатора напряжения, выводы которой обозначаются буквами А, Х (начало-конец), включается в измерительную цепь параллельно (рис. 1б), а к выводам вторичной обмотки, обозначаемой соответственно буквами, а, х, подключают параллельно вольтметры, параллельные цепи ваттметров, счетчиков и других приборов.

По показаниям приборов, включенных во вторичные обмотки, можно определить значения измеряемой величин. Для этого их показания надо умножить на действительные коэффициенты трансформации К_И и К_У.

Для трансформатора тока $K_I = I_1 / I_2$. Для трансформатора напряжения $K_U = U_1 / U_2$.

Действительные коэффициенты трансформации обычно неизвестны, так как они зависят от режима работы трансформатора, т.е. от значений токов и напряжений, характера и значения сопротивления нагрузки вторичной цепи и частоты тока; поэтому показания прибора умножают не на действительные, а на номинальные коэффициенты трансформации. Они указаны на щитке трансформатора в виде дроби, числитель которой есть номинальное значение первичной, а знаменатель - вторичной величины.

Номинальный коэффициент трансформации для данного трансформатора имеет постоянное значение. Для трансформаторов тока обозначим его К_{Ином}, для трансформаторов напряжения – К_{Уном}.

Относительная погрешность в процентах из-за неравенства действительного и номинального коэффициентов трансформации определяется выражениями:

для трансформатора тока:

$$\gamma_I = \frac{K_{Ином} - K_I}{K_I} 100\%$$

для трансформатора напряжения:

$$\gamma_U = \frac{K_{Уном} - K_U}{K_U} 100\%$$

Погрешность γ_I называется токовой погрешностью, γ_U погрешностью напряжения. Кроме этих погрешностей у измерительных трансформаторов имеется еще так называемая угловая погрешность. Она возникает вследствие фазовых сдвигов между первичной и вторичной величиной, вносимых трансформаторов.

Угловая погрешность измерительных трансформаторов влияет только на показания приборов, отклонение подвижной части которых зависит от сдвига фаз между токами в цепях этих приборов. К ним относятся ваттметры, счетчики энергии и фазометры.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретические сведения;

2. Нарисовать схемы включения трансформаторов тока и напряжения и пояснить принцип их работы;

3. Рассчитать коэффициенты трансформации и погрешности измерительных трансформаторов. Полученные данные занести в таблицу:

№	Для трансформатора тока							Для трансформатора напряжения						
	$I_{1\text{ном}}$ А	$I_{2\text{ном}}$ А	I_1 А	I_2 А	К	$K_{\text{Ином}}$	γ_1 , %	$U_{1\text{ном}}$ В	$U_{2\text{ном}}$ В	U_1 В	U_2 В	K_U	$K_{U\text{ном}}$	γ_U , %
1	5	1	5.25	1.2				200	100	200.3	5			
2	10	2	10.3	2.4				250	100	251	10			
3	15	2.5	15.5	2.7				300	100	304	15			
4	20	5	21.5	5.2				350	100	355	20			
5	25	1	25.3	1.1				400	100	406	25			
6	30	2	32	2.4				450	100	457	30			
7	35	2.5	35.6	2.8				500	100	509	35			
8	40	5	41.3	5.6				550	100	554	40			
9	45	1	45.8	1.4				600	100	603	45			
10	50	2	52.5	2.1				650	100	652	50			
11	55	2.5	55.9	2.7				700	100	701	55			
12	60	5	63.3	6				750	100	758	60			
13	65	1	66.3	1.4				100	100	101	65			
14	70	2	71.2	2.8				150	100	155	70			
15	80	2.5	81	3				230	100	232	75			

4. Сделать вывод.

5. Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1). В чем отличие включения в цепь трансформаторов тока и напряжения?
- 2). Для чего применяется измерительные трансформаторы при измерениях в высоковольтных цепях?
- 3). Что можно определить по показаниям приборов, включенных во вторичные обмотки?

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 22

Тема: СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Цель: схемы электроснабжения железных дорог

Студент должен *знать*:

- классификацию реле;
- устройство и принцип действия реле;
- типы современных реле защиты на полупроводниках и интегральных микросхемах;

уметь:

- определять экспериментальным путем основные эксплуатационные параметры реле.

Справочный материал

Назначение реле. Реле времени предназначены для использования в схемах релейной защиты и системах автоматики для селекции управляющих сигналов по длительности, либо для передачи их в контролируемые электрические цепи с установленной задержкой во времени.

В электромагнитных реле времени переменного тока выдержка времени создается с помощью замедляющих механизмов (часового, пневматического, моторного).

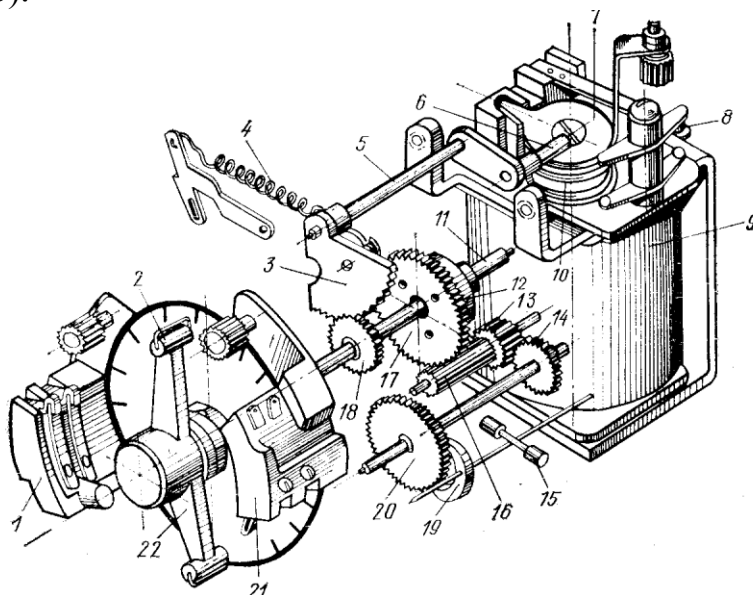


Рисунок 15.1 - Электромагнитное реле времени с часовым замедляющим механизмом

В реле ЭВ-100 и ЭВ-200 выдержка времени создается часовым механизмом (рисунок 15.1). Принцип работы реле следующий. Ведущая пружина 11 нормально растянута (заведена) и удерживается в таком положении пальцем 6, который упирается в верхнюю часть якоря 7. При поступлении напряжения на обмотку 9 якорь 7 втягивается и сжимает возвратную пружину 10, освобождая при этом палец 6. При этом под действием освобожденной ведущей пружины 4 зубчатый сектор 3, закрепленный на оси 5, начинает вращаться и вращать сцепленную с ним шестерню 18. Шестерня 18 соединена с валиком, на который насажена контактная траверса 22. В начале вращения валик зацепляется с ведущей шестерней 17 с помощью фрикционного устройства 12, насаженного на ось 11. Устройство 12 выполняет функции храповой шестерни и храповой пружины.

Ведущая шестерня 17 через трубку 16 и шестерни 13 и 14 связана с часовым механизмом 20, 19, 15. Часовой механизм позволяет контактной траверсе 22 двигаться с определенной скоростью. Выдержка времени определяется временем движения траверсы и начальным положением подвижных контактов 2 относительно неподвижных и проскальзывающих 21. Изменением положения неподвижных и проскальзывающих контактов по шкале реле обеспечивается регулировка времени срабатывания. Кроме контактов с регулируемой выдержкой времени имеются переключающие контакты мгновенного действия 8, которые переключаются при втягивании

якоря. При исчезновении напряжения реле мгновенно возвращается в исходное положение.

Реле ЭВ-100 применяются для работы на постоянном оперативном токе 24, 48, 110 и 220 В, реле ЭВ-200 - на переменном оперативном токе 110, 127, 220 и 370 В. Обмотки реле времени переменного тока типов ЭВ-215 - ЭВ-245 постоянно находятся под напряжением. Реле срабатывают при снятии напряжения, при подаче напряжения реле мгновенно возвращаются в исходное положение.

Реле времени типов ЭВ-112 - ЭВ-144 выпускают для работы на постоянном токе на напряжение 24, 48, 110, 220В. Реле времени переменного тока типов ЭВ-215 - ЭВ-245 выпускают на напряжение 100, 127, 220, 380 В. В реле ЭВ-215 (рисунок 15.2) при подведении напряжения к обмотке реле 10, расположенной на ярме 9, заводится часовой механизм 5, что приводит к подъему якоря 11. Якорь же через систему рычагов 6 и 7 заводит часовой механизм, одновременно замыкая без выдержки времени мгновенные контакты 8. При выключении напряжения система рычагов приходит в исходное положение, мгновенные контакты переключаются, а заведенный часовой механизм начинает вращать рычаг 3, перемещая подвижные контакты 4, которые с установленной выдержкой времени замкнут контакты 2, а затем контакты 1. Выдержка времени регулируется перемещением контактов 1.

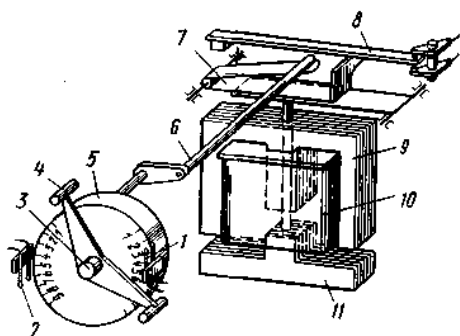


Рисунок 15.2 – Реле времени типа ЭВ-215

В качестве электромеханических реле времени также применяют моторные реле времени с синхронными микродвигателями (рисунок 15.3).

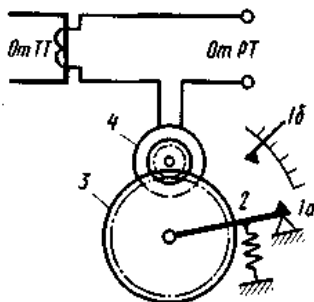


Рисунок 15.3 – Моторное реле времени

При срабатывании реле PT защищаемого элемента от промежуточного трансформатора TT , размещенного в кожухе реле времени, подается необходимое напряжение, при котором микродвигатель 4 через передаточный механизм 3 начинает двигать рычаг 2 со скоростью, определяемой частотой тока в сети. На рычаге 2 укреплен подвижный элемент контакта 1а. Через выдержку времени, устанавливаемую положением неподвижного элемента контакта 1б, последний замыкается, и реле времени срабатывает.

Электронные реле времени с выдержкой на срабатывание типа РВ-01.

Основные технические данные. Диапазон уставок выдержек времени в зависимости от использования: (0,1-1,0) с, (0,3-3,0)с; (0,1-10,0)с; (0,3-30)с - с дискретностью регулирования 0,01с; 0,03с; 0,1с; 0,3 с, соответственно.

Номинальное напряжение /Потребляемая мощность, В·А:

- постоянного тока: 24В/2,0 Вт; 48В/2,5Вт; 60В/3,0Вт; 110В/5,0 Вт; 220В/10Вт;
- переменного тока 50 или 60 Гц: 100В/6,0 ВА; 127В/7,0 ВА; 220В/11,0 ВА; 380В/20,0 ВА.

Исполнения на 380 В, 50 Гц получают путем включения реле с рабочим напряжением на 110...220 В, 50 Гц последовательно с балластным резистором, входящим в комплект поставки реле.

Реле имеют два исполнительных контакта, переключающихся с одинаковой выдержкой времени, способных коммутировать напряжения постоянного и переменного тока от 24 до 250 В.

Коммутационная способность контактов достигает 30 Вт в цепи постоянного тока с индуктивной нагрузкой при постоянной времени не более 0,02 с и 250 ВА в цепи переменного тока при коэффициенте мощности не ниже 0,4.

Минимальный ток контактов 0,01 А при напряжении 110 В и более и 0,05 А при напряжении от 24 до 110 В. Длительно допустимый ток контактов 2,5 А.

Контакты реле способны замыкать постоянный и переменный ток до 20 А в течение 0,5 с при общем числе замыканий не более 100. Масса реле не более 1 кг.

Принцип действия и устройство реле, описание работы реле. Структурная схема реле показана на рисунке 15.4. Она содержит следующие блоки: преобразователь входного управляющего напряжения U_1 , формирующий питающее U_n и опорное $U_{оп}$ напряжения для электронной схемы; времязадающий блок U_2 формирующий требуемую временную задержку на срабатывание; пороговую схему (компаратор) SF ; усилитель мощности сигнала A с ключом KL на выходе; и схему обнаружения отключения питания реле U_3 и электронный ключ SW для ускоренного разряда конденсаторов в реле.

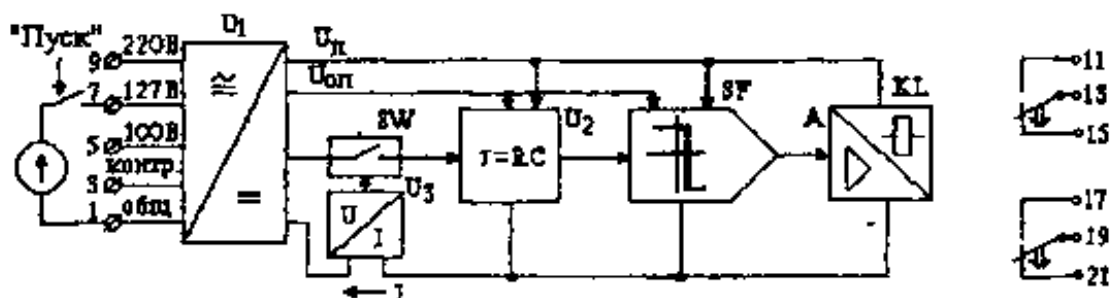


Рисунок 15.4 – Структурная схема РВ-01

Для получения стабильной временной задержки в реле используется принцип дозаряда конденсатора от фиксированного начального напряжения до напряжения срабатывания пороговой схемы. Управление работой отдельных узлов реле осуществляется по факту скачкообразного изменения напряжения питания.

Ход работы

Оборудование: Реле времени различных типов.

- 1) Определите тип реле и запишите его технические данные.
- 2) Снимите крышку реле и рассмотрите устройство его основных частей.
- 3) Опишите устройство и принцип действия реле времени.
- 4) Ответьте на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

- 1) Для чего применяется электромагнитное реле времени, на каком принципе оно действует?
- 2) С помощью чего создается выдержка времени реле?
- 3) На каком токе работают реле времени ЭВ-200?
- 4) На каком токе могут работать реле времени ЭВ-100?
- 5) Перечислите виды реле времени.

Содержание отчета

- 1) Номер, тема и цель работы.
- 2) Типы реле и его технические параметры.
- 3) Устройство и принцип действия реле времени.
- 4) Ответы на контрольные вопросы.

Информационное обеспечение обучения

Печатные и электронные издания

Основные печатные издания

1. Диагностика оборудования систем электроснабжения : учебное пособие / Е. Е. Привалов, А. В. Ефанов, С. С. Ястребов, В. А. Ярош ; под редакцией Е. Е. Привалова. — Ставрополь : Параграф, 2020. — 236 с. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/109376>

2. Шлейников, В. Б. Электроснабжение цеха промышленного предприятия : учебное пособие для СПО / В. Б. Шлейников. — Саратов : Профобразование, 2020. — 115 с. — ISBN 978-5-4488-0719-0. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/92214>

3. Абрамова, Е. Я. Электроснабжение промышленных предприятий. Курсовое проектирование : учебное пособие для СПО / Е. Я. Абрамова. — Саратов : Профобразование, 2020. — 121 с. — ISBN 978-5-4488-0538-7. — Текст : электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование : [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/922114.2.2>

Дополнительные учебные издания:

4. Шеховцов В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2019. –214с.

Интернет ресурсы:

5. <http://www.minenergo.com/> Министерство энергетики Российской Федерации

6. <http://eprussia.ru/lib/> Энергетика и промышленность России

7. <http://forca.ru/> Энергетика, оборудование, документация

Электронно-библиотечная система:

8. ЭБС «elibrary», ООО «РУНЭБ»

9. ЭБС «IPRbooks», ООО «Ай Пи Ар Медиа»

10. ЭБС «Лань», ООО «Издательство Лань»

11. ЭБС «PROФобразование

12. ЭБС «Book.ru