

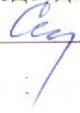
Государственное бюджетное
профессиональное образовательное учреждение
«Кунгурский колледж агротехнологий и управления»

Методические рекомендации

по выполнению лабораторных и практических работ
по ПМ.02 Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий
по специальности 35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном
комплексе (АПК)

2023г.

Рассмотрено и одобрено
На заседании МК
технических дисциплин
Протокол № 1 от 31.08.2023г.
Председатель МК


Склюева Н.В.

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора

 Л.И.Петрова

Разработчик: ГБПОУ ККАТУ, преподаватель Склюева Н.В.

Содержание

1. Пояснительная записка	4
2. Общие указания к выполнению лабораторных и практических работ и оформлению отчета	5
3. Практические занятия по МДК.02.01. Энергоснабжение предприятий АПК	5
3.1. Практическое занятие №1. Условные обозначения, правила чтения схем	5
3.2. Практическое занятие №2. Выбор сечения кабелей.....	5
3.3. Практическое занятие №3. Проверка проводов по нагреву	7
3.4. Практическое занятие №4. Выбор проводов, плавких вставок предохранителей, расцепителей автоматов и тепловых реле пускателей	9
3.5. Практическое занятие №5. Выбрать сечение провода марки АПРВ для присоединения электродвигателя	11
3.6. Практическое занятие №6 Устройство и характеристика проводов марки СИП.....	12
3.7. Практическое занятие №7 Расчёт электрической нагрузки на шинах подстанций, на участке линии электропередач.....	17
3.8. Практическое занятие №8 . Расчет электрических цепей 220 В.....	19
3.9. Практическое занятие №9 Расчёт электрической нагрузки на участке ВЛ 0,38 кВ.....	21
4. Практические занятия по МДК.02.02. Организация и планирование бесперебойного энергообеспечения предприятий АПК	23
4.1. Практическое занятие №1 Расчет эквивалентного сопротивления для расчета токов короткого замыкания.....	23
4.2. Практическое занятие №2 Расчет составляющих тока короткого замыкания	25
4.3. Практическое занятие №3 Выбор автоматических выключателей для защиты сетей жилых зданий	27
4.4. Практическое занятие № 4 Выбор автоматического выключателя для защиты цепей двигателя от короткого замыкания.....	29
4.5. Практическое занятие №5. Выбор проводников и аппаратов по продолжительным режимам работы.....	31
4.6. Практическое занятие №6 Схемы соединения трансформаторов тока.....	33
4.7. Практическое занятие №7 Устройство реле тока, реле напряжения, реле времени... ..	34
4.8. Практическое занятие №8 Схемы максимальной токовой защиты.....	37
4.9. Практическое занятие 9 Схемы дифференциальной токовой защиты.....	39
4.10. Практическое занятие 10 Схемы автоматического включения резерва	41
4.11. Практическое занятие 11 Схемы автоматического повторного включения.....	43
5. Критерии оценивания выполнения практических и лабораторных работ	45
6. Правила техники безопасности при выполнении лабораторных и практических занятий	45
6. Список источников для обучающихся	47

1. Пояснительная записка.

Методические рекомендации по выполнению лабораторных и практических работ обучающихся по производственному модулю ПМ.02 «Электроснабжение сельскохозяйственных предприятий» составлены на основе рабочей программы ПМ02, федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования 35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК) (Приказ Минпросвещения России от 27 мая 2022 г. N 368), и учебного плана по специальности.

Цель методических указаний - оказание помощи студентам в выполнении лабораторных и практических работ по производственному модулю. Настоящие методические указания позволят обучающимся самостоятельно овладеть знаниями и профессиональными умениями и направлены на формирование следующих компетенций:

Код	Наименование результата обучения
ПК 2.1.	Организовывать работы по бесперебойному энергоснабжению сельскохозяйственного предприятия.
ПК 2.2.	Планировать основные показатели в области обеспечения работоспособности электрического хозяйства сельскохозяйственных потребителей, автоматизированных и роботизированных систем
ОК 01	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам
ОК 02	Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности
ОК 09	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках

2. Общие указания к выполнению практических занятий и оформлению отчета.

По каждой работе представлены краткие методические указания к ее выполнению. Перед выполнением каждого задания обучающийся должен ознакомиться с изучаемым материалом по учебному пособию, практикуму и другой литературе. По каждой работе обучающийся в отдельной тетради чертит схемы, таблицы, отвечает на вопросы, помещенные в методических указаниях для отчета по выполняемой работе. При проведении практического занятия преподаватель поясняет тему, разъясняет последовательность выполнения заданий, а затем обучающиеся работают самостоятельно и в конце занятий защищают отчет по практической работе. О степени своей подготовленности студент может судить по знанию вопросов для самопроверки, которые приведены в каждой работе.

Описание каждой практической работы содержит: тему, цели работы, задания, порядок выполнения работы, формы контроля, требования к выполнению.

3. Практические занятия по МДК.02.01. Энергоснабжение предприятий АПК.

3.1. Практическое занятие №1.

Условные обозначения элементов, правила чтения схем

Цель работы: Усвоение умений и знаний:

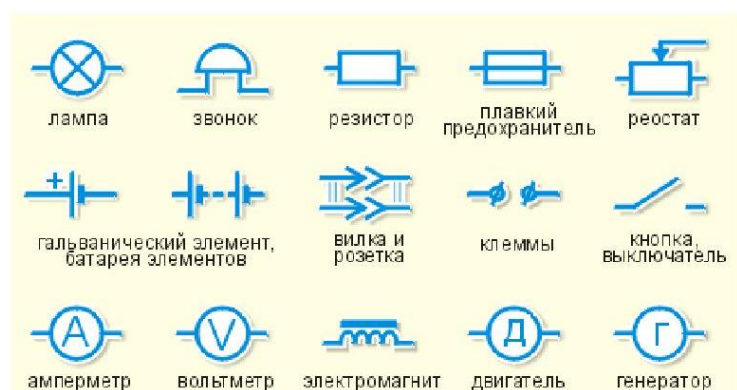
У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

У2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;

31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

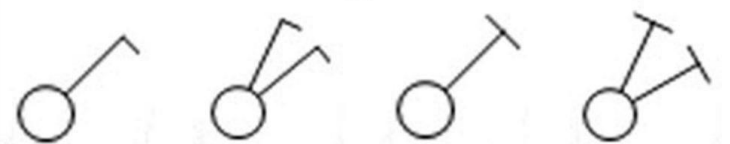
32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Ход работы: Выучить условные обозначения элементов схем



Элемент электрической цепи	Условное обозначение
Ключ	
Лампа накаливания	
Электрический звонок	
Резистор	
Нагревательный элемент	
Плавкий предохранитель	
Реостат	
Штепсельное соединение	
Кнопка	

Условные обозначения однополюсных выключателей



Одноклавишный выключатель открытой установки Двуклавишный выключатель открытой установки (сдвоенный) Одноклавишный выключатель скрытой установки Двуклавишный выключатель скрытой установки (сдвоенный)

Плавкий предохранитель – FU

Резистор -R

АКБ - G

Амперметр –РА

Вольтметр –PV

Дроссель – L

Ключ – S

Штепсельное соединение – XS

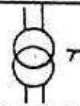
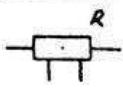
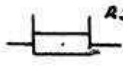
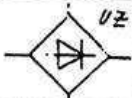
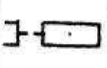
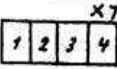
Кнопка с самовозвратом SB

Концевой (конечный) выключатель SQ

Автоматический выключатель в силовой части QF

Автоматический выключатель в цепи управления QS

Нагревательный элемент EK

13		Трансформатор напряжения	35		Постоянный резистор с отводами
14		Трансформатор тока	36		Шунт (расширение пределов измерения тока)
15		Асинхронный 3-фазный двигатель с короткозамкнутым ротором	37		Конденсатор постоянной ёмкости
16		Осветительная лампа накаливания	38		Конденсатор переменной ёмкости
17		Сигнальная лампа накаливания	39		Неполярный электролитический конденсатор
18		Полупроводниковый Диод	40		Полярный электролитический конденсатор
19		Тиристор (управляемый полупроводниковый диод)	41		Электрозвонок
20		Выпрямительный мостик (Греча)	42		Общее обозначение электромагнитного тормоза
21		Транзистор типа n - p - n	43		Электромагнитная муфта
22		Транзистор типа p - n - p	44		Колодка зажимов (гребенка)

3.2.Практическое занятие №2.

Выбор сечения кабелей

Цель работы: Усвоение умений и знаний:

У1.Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

У2.Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;

31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Сечение кабелей выбирается исходя из тока нагрузки по таблицам из ПУЭ

3.3.Практическое занятие №3.

Проверка проводов по нагреву

Цель работы: Усвоение умений и знаний:

У1.Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

У2.Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;

31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Ход работы:

Таблица 1.3.4. Допустимый длительный ток для проводов и шнуров с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с медными жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножиль- ных	трех одножиль- ных	четырёх одножиль- ных	одного двухжиль- ного	одного трехжиль- ного
0,5	11	—	—	—	—	—
0,75	15	—	—	—	—	—
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	255	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
150	440	360	330	—	—	—
185	510	—	—	—	—	—
240	605	—	—	—	—	—
300	695	—	—	—	—	—
400	830	—	—	—	—	—

Выбор сечений проводников по нагреву

$$I_p \leq I_{\partial\partial}$$

- для однофазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{U_\phi \cos \varphi}$$

- для двухфазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{2U_\phi \cos \varphi}$$

- для трехфазной сети

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_\phi \cos \varphi}$$

где $I_{\partial\partial}$ – длительно допустимый ток проводника

P_p – мощность нагрузки одной, двух или трех фаз

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности нагрузки,

U_ϕ , U_ϕ – линейное и фазное напряжения сети

Допустимый длительный ток для проводов с медными жилами с резиновой изоляцией в металлических защитных оболочках и кабелей с медными жилами с резиновой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной, найритовой или резиновой оболочке, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм ²	Ток*, А, для проводов и кабелей				
	одножильных	двужильных		трехжильных	
	При прокладке				
	В воздухе	В воздухе	В земле	В воздухе	В земле
1,5	23	19	33	19	27
2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
25	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
150	440	350	505	305	435
185	510	405	570	350	500
240	605	-	-	-	-

* Токи относятся к проводам, кабелям как с нулевой жилой, так и без нее.

3.4 Практическое занятие №4.

Выбор проводов, плавких вставок предохранителей, расцепителей автоматов и тепловых реле пускателей

Цель работы: Усвоение умений и знаний:

- У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- У2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;
- З1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- З2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Краткие теоретические сведения.

Расчетная нагрузка по допустимому нагреву представляет собой такую условную длительную неизменную нагрузку, которая эквивалентна ожидаемой изменяющейся нагрузке по наиболее тяжелому тепловому воздействию:

максимальной температуре нагрева проводника или тепловому износу его изоляции.

В соответствии с [] 3 расчетная активная мощность группы электроприемников (количество электроприемников в группе более одного) на напряжение до 1 кВ определяется по выражению:

$$P_p = K_M \sum k_{ni} * p_i \quad (1.1)$$

где K_M - коэффициент максимума; k_{ni} - коэффициент использования i -го электроприемника, значения k_i для характерных электроприемников приведены в таблице 1.1; p_i – номинальная мощность i -го электроприемника; n - количество электроприемников в группе.

Групповой коэффициент использования

$$K_{\text{г}} = \sum k_{ni} * p_i / \sum p_i \quad (1.2)$$

Значение K_M зависит от эффективного числа электроприемников ($n_{\text{э}}$), группового коэффициента использования ($K_{\text{г}}$), а также от постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки. В методике расчета приняты следующие значения постоянной времени нагрева (T_o):

$T_o = 10$ мин - для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты.

Значения K_M для этих сетей принимаются по табл. 1.2;

$T_o = 2,5$ ч - для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов.

K_M для этих сетей принимаются по табл. 1.3.

Эффективное число электроприемников $n_{\text{э}}$ - это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников.

Таблица 1.1 - Коэффициенты использования K_i коэффициенты мощности ($\cos\varphi$)
некоторых механизмов и аппаратов

Металлорежущие станки мелкосерийного производства,

мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и др.

$K_{и} = 0,12-0,14$ $\cos\varphi = 0,4-0,5$

2. То же при крупносерийном производстве

$K_{и} = 0,16$ $\cos\varphi = 0,5 - 0,6$

3. То же при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки:

$K_{и} = 0,17$ $\cos\varphi = 0,65$

4. То же с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистительных барабанов и др.

$K_{и} = 0,2 - 0,24$ $\cos\varphi = 0,65$

5. Многошпиндельные автоматы 0,2 0,6

6. Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, лифты

$K_{и} = 0,15 - 0,35$ $\cos\varphi = 0,5$

7. Вентиляторы, санитарно-гигиеническая вентиляция $K_{и} = 0,65 - 0,8$ $\cos\varphi = 0,8$

8. Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы $K_{и} = 0,7$ $\cos\varphi = 0,85$

9. Сварочные трансформаторы дуговой электросварки $K_{и} = 0,2$ $\cos\varphi = 0,4$

10. Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы

$K_{и} = 0,75 - 0,8$ $\cos\varphi = 1,0$

11. Индукционные печи низкой частоты - $\cos\varphi = 0,35$

12. Индукционные печи высокой частоты - $\cos\varphi = 0,65 - 0,8$

13. Элеваторы, транспортеры, конвейеры $K_{и} = 0,4 - 0,55$ $\cos\varphi = 0,75$

14. Дуговые сталеплавильные печи $K_{и} = 0,5 - 0,75$ $\cos\varphi = 0,8 - 0,9$

15. Гальванические установки $K_{и} = 0,4 - 0,5$ $\cos\varphi = 0,6 - 0,8$

3.5. Практическое занятие №5.

Выбрать сечение провода марки АПРВ для присоединения электродвигателя

Цель работы: Усвоение умений и знаний:

У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

У2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;

31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Ход работы:**Задание.**

В сеть напряжением 380 В включен трехфазный асинхронный двигатель марки А2, АО2 или АОЛ2. Данные двигателя взять из **таблицы 1** в зависимости от варианта.

Частоту двигателя выбрать по усмотрению.

Определить:

1. Определить номинальную скорость двигателя при $S_H = 5\%$
2. Номинальный ток двигателя с помощью формулы и на прикидку
3. Число пар полюсов статора двигателя.
4. Определить пусковой ток двигателя.
5. Исходя из номинального тока двигателя выбрать четырехжильный провод марки АПРВ. Таблицы сечений взять из таблиц ПУЭ.
6. Технические данные асинхронных двигателей единой серии А2 и АО2 (аол2) с к.з. ротором.

Синхронная частота вращения, об/мин										
Мощность	3000			1500			1000			
кВт	кпд, %	Cos φ	In/In	кпд, %	Cos φ	In/In	кпд, %	Cos φ	In/In	№ вариан
Двигатели серии А2										
10							87	0,86	7	1
13				88,5	0,88	7	88	0,86	7	2
17	88	0,88	7	89,5	0,88	7	89	0,87	7	3
22	89	0,88	7	90	0,88	7	89,5	0,87	7	4
30	90	0,9	7	90,5	0,88	7	90	0,88	7	5
40	90,5	0,9	7	91	0,89	7	91	0,89	7	6
55	91	0,9	7	92	0,89	7	92	0,89	7	7
72	92	0,9	7	93	0,89	7	92,5	0,89	7	8
100	93	0,9	7	93,5	0,9	7				9
129	94	0,9	7							10
Двигатели серии АО2, АОЛ2										
0,4							68	0,65	6,5	11
0,6				72	0,76	7	70	0,68	6,5	12
0,8	78	0,86	7	74,5	0,78	7	73	0,71	6,5	13
1,1	79,5	0,87	7	78	0,80	7	76	0,73	6,5	14
1,5	80,5	0,88	7	80	0,81	7	79	0,75	6,5	15
2,2	83	0,89	7	82,5	0,83	7	81	0,77	6,5	16
3	84,5	0,89	7	83,5	0,84	7	83	0,78	6,5	17
4	85,5	0,89	7	86	0,85	7	84,5	0,79	6,5	18
5,5	87	0,90	7	88	0,86	7	85,5	0,81	6,5	19
7,5	88	0,91	7	88,5	0,87	7	87	0,82	6,5	20
10	88	0,89	7	89	0,88	7	88	0,89	7	21
13	88,5	0,9	7	88,5	0,89	7	88	0,89	7	22

17	87	0,9	7	89	0,89	7	90	0,90	7	23
22	88	0,9	7	90	0,90	7	90,5	0,9	7	24
30	89	0,9	7	91	0,91	7	91	0,91	7	25
40	89	0,91	7	91,5	0,91	7	91,5	0,91	7	26

3.6. Практическое занятие № 6.

Устройство и характеристика проводов марки СИП

Цель работы:

Усвоение умений и знаний:

- У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- У2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;
- 31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- 32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Развитие электрических сетей и значительное увеличение количества потребителей обуславливает многочисленные подключения. Которые не представляется возможным выполнить обычными оголенными проводами из-за опасности схлестывания и других факторов. Поэтому на смену классическим линиям, выполненным голым проводом, пришел провод СИП, успевший занять нишу и для бытовых потребителей, и для промышленных. Такая популярность СИПа стала возможной за счет ряда преимуществ, в сравнении с другими марками.

Расшифровка маркировки СИП

В сравнении с другими марками, провод СИП представляет собой токоведущий элемент для передачи электроэнергии, который расшифровывается по трем буквам названия:

С – обозначает, что провод самонесущий;

И – указывает на наличие изоляции вокруг токоведущих жил;

П – говорит о том, что это именно провод, несмотря на наличие изоляционного покрытия и разветвление по жилам, из-за чего его могут приравнивать к кабелю.

Рассмотрите пример такого обозначения – СИП-1-3×20+1×25-0,4, здесь СИП-1 обозначает марку, 3×20 показывает, что три изолированные жилы имеют сечение в 20 мм² каждая, 1×25 – означает что нулевая жила имеет сечение 25 мм², 0,4 – номинальное напряжение для данной модели.

В зависимости от конкретной марки, выделяют пять основных разновидностей провода СИП, обозначаемые соответствующими цифрами после буквенного обозначения. В конце может присутствовать одна буква, указывающая на конструктивные отличия и эксплуатационные

особенности. Данные отличия в марках СИП определяются конструктивными параметрами, поэтому их будет целесообразнее рассмотреть на конкретных примерах.

Конструкция

Конструктивно все типы проводов СИП содержат жилы, выполненные в определенной форме с заданным количеством, одна из которых может выполнять функции несущей струны для линии.

По типу они различаются таким образом:

СИП-1 – четырехжильный провод, в котором каждая из жил представлена скрученными друг относительно друга проводниками. В данной марке СИП три из них предназначены для трех фаз и оснащены термопластичной изоляцией, а четвертая для нулевого вывода, но она не изолирована. В нулевом проводнике центральная проволока выполнена из стали и является несущей. При наличии в конце маркировки буквы А (СИП-1А), нулевой вывод будет оснащен изоляцией.

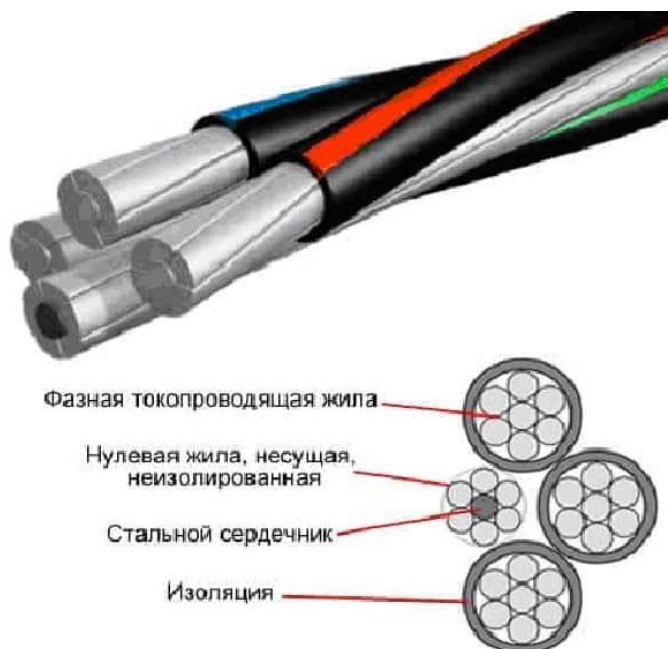


Рис. 1: конструкция провода СИП-1

СИП-2 – такой же четырехжильный вариант, как и предыдущий, с единственным отличием в том, что нулевой провод имеет изоляцию. В классическом исполнении нулевая жила изолируется термопластичным полиэтиленом, а в марке СИП-2А сшитым полиэтиленом, так же как и фазные. Второй вариант применяется для участков с значительным воздействием атмосферных факторов. Как и предыдущая марка, этот СИП используется в линиях до 1 кВ.

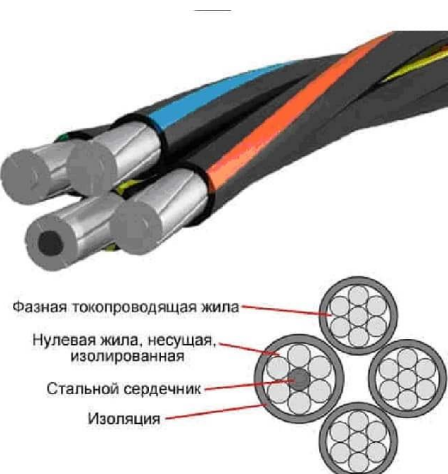


Рис. 2: конструкция провода СИП-2

СИП-3 – в отличие от предыдущих марок, представляет собой одножильный вариант токоведущего провода. Конструктивно в центре этого СИП находится стальная несущая проволока, которая окружена алюминиевыми токоведущими жилами. Применяется в высоковольтных линиях напряжением 6 – 35кВ для прокладки фаз на большие расстояния.

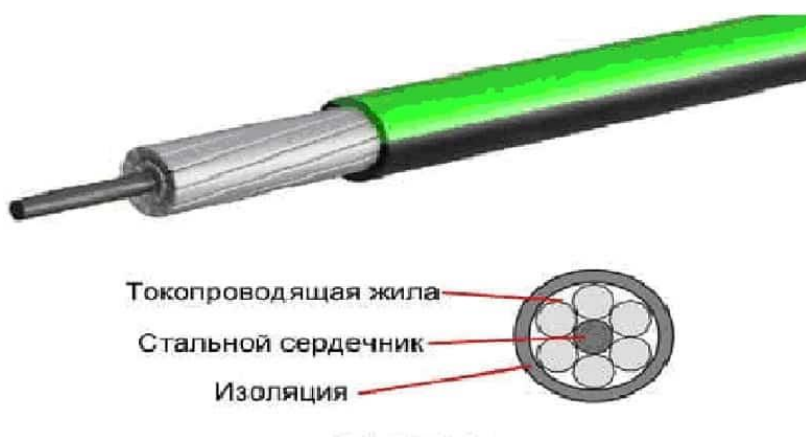


Рис. 3: Конструкция провода СИП-3

СИП-4 – представляет собой парную систему, в которой каждая жила имеет свою пару, но, в отличие от предыдущих, у нее отсутствует несущий элемент и нулевой провод. Поэтому такая марка не может применяться для монтажа линий, так как существует вероятность ее разрыва при воздействии ветровых нагрузок. В качестве изоляции здесь применяется термопластичный полиэтилен. Существует вариант марки с буквой Н (СИП-4Н), которая свидетельствует о том, что токоведущие элементы изготовлены из сплава алюминия, если буква Н отсутствует, в конкретной марке используется чисто алюминиевая проволока.

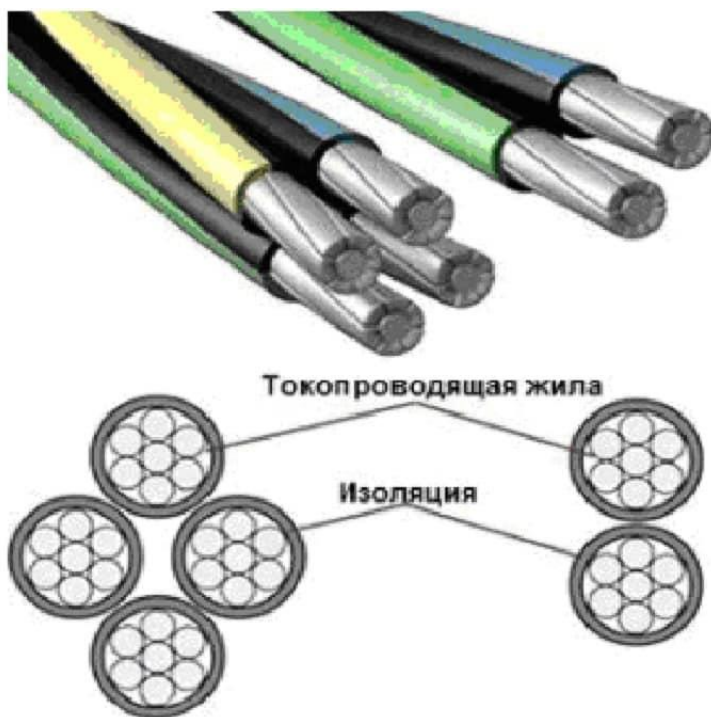


Рис. 4: Конструкция провода СИП-4

СИП-5 – полностью идентичен с предыдущей маркой – также имеет парное число жил и не содержит нулевого провода с несущим элементом. Единственным отличием является тип изоляции, покрывающей проводники, в марках СИП-5 и СИП-5Н это сшитый полиэтилен, который позволяет повысить рабочий температурный предел до 30%.

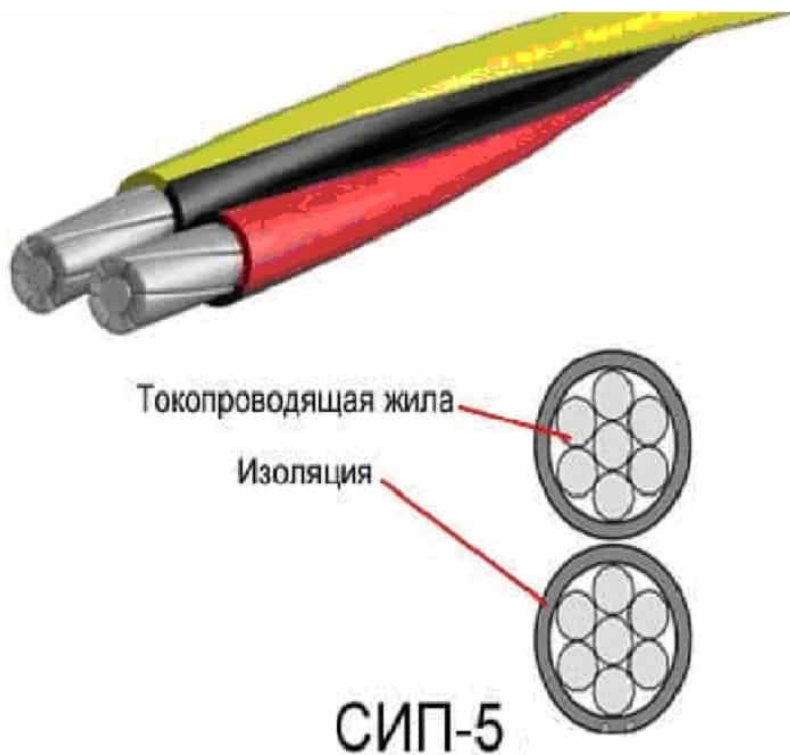


Рис. 5: конструкция провода СИП-5

В связи с тем, что для прокладки СИП не требуется никаких особых навыков, его можно выполнить и в домашних условиях, и собственными силами предприятия без привлечения специализированной организации. Прокладка может осуществляться как на опорах, так и на конструктивных элементах зданий и сооружений. Как правило, крепление к стенам выполнить куда проще, чем на отдельно стоящей опоре.

Так как самонесущий изолирующий провод имеет оболочку с изоляцией, важно обеспечить подвешивание, которое исключает повреждение диэлектрического слоя. Для этого устанавливаются пластиковые ролики, захваты и коуши, по которым провод может беспрепятственно перемещаться.

В процессе прокладки запрещено волочить СИП по земле или веткам деревьев, так как те могут повредить его изоляцию.

Для стыкования разных участков СИП используются герметичные зажимы прокалывающего типа. Благодаря такой конструкции можно осуществлять отвод линии от уже существующей даже под напряжением. Перед фиксацией на опоре провод СИП обязательно должен вытянуться через подвижный элемент (для марок СИП от 1 до 3 при помощи динамометра до установки нормируемой нагрузки). После вытяжки его закрепляют в точках фиксации.

Применение, преимущества и недостатки

За счет наличия изоляции СИП имеет достаточно широкую сферу применения. Наиболее часто он используется для ввода электричества в здание, а благодаря внешнему слою изоляции, дополнительные меры и приспособления при прохождении стен не требуются. Также самонесущий изолирующий провод может применяться для местной разводки сетей по территории объекта или при подключении абонентов к линиям энергоснабжающей организации. Отдельной сферой применения СИПа являются магистральные линии, которые обеспечивают электроснабжение целых поселков или распределительных подстанций.

В сравнении с другими марками кабельно-проводниковой продукции СИП обладает рядом преимуществ, а именно:

У провода СИП значительно меньше реактивное сопротивление, в сравнении с голыми проводами;

Не требует установки дополнительных изоляторов в местах крепления к опорам, стенам и при вводе в здание за счет наличия изоляционного слоя;

Занимает меньше места в пространстве за счет того, что провода собраны вместе;

Не подвержен коррозионному разрушению за счет наличия защитного слоя;

Не боится перехлестывания смежных фаз при сильных ветровых нагрузках;

Затрудняет незаконный отбор мощности посредством наброса на провода;

К недостаткам провода СИП следует отнести больший вес погонного метра, из-за чего пролеты нужно уменьшать и ставить опоры чаще. А также необходимость обустройства дополнительной изоляции для определенных категорий помещений и потребителей.

3.7.Практическое занятие № 7.

Расчёт электрической нагрузки на шинах подстанций, на участке линии электропередач

Цель работы:

Усвоение умений и знаний:

- У1.Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- У2.Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;
- 31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- 32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Электрической нагрузкой в соответствии с ГОСТ 19431-84 называется мощность, потребляемая электроустановкой в установленный момент времени. При применении переменного тока полная мощность складывается из активных и реактивных составляющих, поэтому различают **полную, активную и реактивную** нагрузки. Часто понятие нагрузки распространяется также на электрический ток (токовая нагрузка), а иногда и на электрическое сопротивление (например, в виде сопротивления задается допустимая нагрузка вторичных цепей трансформаторов тока).

Нагрузка линий задаётся в следующем виде: активной мощностью P , реактивной мощностью Q , полной мощностью S или током I .

Для характеристик потребляемой мощности пользуются следующими понятиями:

1. Номинальная активная мощность приёмника электроэнергии – это мощность, указанная на заводской табличке или в паспорте приёмника электроэнергии (для источника света – на колбе или цоколе), при которой приёмник электроэнергии должен работать. Номинальная мощность светильников с лампами накаливания совпадает с потребляемой мощностью, а светильников с разрядными лампами с мощностью только ламп (без учёта потерь мощности в пускорегулирующих устройствах). Номинальная мощность электродвигателя – это мощность на валу при номинальной продолжительности включения.

2. Под номинальной реактивной мощностью приёмника электроэнергии понимают реактивную мощность, потребляемую им из сети (знак плюс) или отдаваемую в сеть (знак минус) при номинальной активной мощности и номинальном напряжении.

3. Установленная мощность – это сумма номинальных мощностей однородных электроприёмников.

4. Присоединённая мощность – это мощность, которую потребляет из сети потребитель при полной его нагрузке. Присоединённая мощность равна установленной для всех электроприёмников, кроме электродвигателей. Для электродвигателей присоединенная мощность зависит от коэффициента загрузки рабочей машины, коэффициента полезного действия и коэффициента мощности.

5. Средняя активная мощность группы электроприем-ников

$$P_{\text{ср}} = \frac{W}{t}, \quad (1.1)$$

где W – расход электроэнергии за рассматриваемый отрезок времени t .

Чаще всего необходимо знать среднюю мощность за смену $P_{\text{ср.см}}$ и за год $P_{\text{ср.г}}$

$$P_{\text{ср.см}} = \frac{W_{\text{см}}}{t_{\text{см}}}; \quad (1.2)$$

$$P_{\text{ср.г}} = \frac{W_{\text{г}}}{t_{\text{г}}} = \frac{W_{\text{г}}}{8760} \quad (1.3)$$

6. Коэффициент использования активной мощности одного ($K_{\text{иа}}$) или группы ($K_{\text{иа}}$) электроприемников представляет собой отношение средней активной мощности отдельного приемника или группы приемников за наиболее загруженную смену к номинальной мощности

$$k_{\text{иа}} = \frac{P_{\text{ср.см}}}{P_{\text{ном}}} ; \quad (1.4)$$

$$K_{\text{иа}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{ср.см}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном}i}} \quad (1.5)$$

Пропускную способность системы электроснабжения и номинальную мощность источников электроэнергии выбирают по максимальному или определённому по некоторому среднему за определённый промежуток времени значению нагрузки, которое называется **расчетной нагрузкой**.

Расчетные активная P_p , реактивная Q_p и полная S_p мощности определяются по выражениям, известным из курса ТОЭ

$$P_p = \sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_p ; \quad (1.6)$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi_p ; \quad (1.7)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (1.8)$$

Из-за сложности определения расчетных $\cos \varphi_p$ и $\operatorname{tg} \varphi_p$ допускается их принимать равным средним значениям: $\cos \varphi_p = \cos \varphi_{\text{ср}}$, $\operatorname{tg} \varphi_p = \operatorname{tg} \varphi_{\text{ср}}$.

При проектировании систем электроснабжения применяют различные методы определения расчётных электрических нагрузок [1,2]. Расчёт электрических нагрузок в сельскохозяйственных районах производится в соответствии с Методическими указаниями по расчёту электрических нагрузок в сетях 0,38-110 кВ сельскохозяйственного назначения, разработанными Сельэнергопроектом [21]. В методических указаниях приняты два способа подсчёта нагрузок: по вероятностным характеристикам или при помощи коэффициента одновременности.

При расчете по обоим методам в соответствии с суточным графиком электрических нагрузок пользуются данными о дневном (индекс “д”) и вечернем (индекс “в”) максимумах активной, реактивной и полной нагрузок: $P_{\text{мд}}$, $P_{\text{мв}}$, $Q_{\text{мд}}$, $Q_{\text{мв}}$, $S_{\text{мд}}$, $S_{\text{мв}}$.

Нагрузки определяются обычно для дневного и вечернего максимума нагрузок. Если от сети питаются только производственные потребители, расчёт можно выполнять для дневного максимума нагрузок, если потребители только бытовые, можно рассчитывать вечерний максимум нагрузки.

Когда речь идёт об электропитании одного потребителя, то определение расчётной нагрузки не вызывает проблем: расчётной нагрузкой следует считать максимальную нагрузку из двух указанных максимумов (вечерний или дневной).

Чаще всего объектом электропитания является группа электро-приёмников, каждый из которых работает в переменном, не зависящем от других, практически стохастическом режиме (например, электробытовая нагрузка сельских жилых домов в поселке).

При расчёте по вероятностным характеристикам (первый способ) необходимы сведения о математическом ожидании дневных и вечерних максимумов активной и реактивной нагрузок, которые условимся обозначать подчеркиванием сверху соответствующей величины $(\bar{P}_d, \bar{P}_в, \bar{Q}_d, \bar{Q}_в)$.

Второй способ базируется на том, что при большом числе электроприёмников они обычно одновременно не работают. Расчетную мощность поэтому определяют как арифметическую сумму присоединённых мощностей электроприемников, умноженную на коэффициент одновременности ($K_o \leq 1$). **Коэффициентом одновременности** называют отношение расчётной нагрузки группы из нескольких потребителей к сумме их максимальных нагрузок. Далее излагаются способы определения электрических нагрузок на вводах в жилые дома, производственные объекты, на участках линий электропередачи и сборных шинах трансформаторных подстанций.

3.8. Практическое занятие № 8

Расчет электрических цепей 220 В.

Цель работы: Усвоение умений и знаний:

31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Задание .

В здании на **фазное** напряжение подключены n ламп мощностью $P_{л}$, m нагревательных элементов мощность $P_{н.э.}$; и остальные потребители общей мощностью $P_{потр.}$. **$\cos \varphi$ взять 0,9.**

Вариант задания выбрать из таблицы 1 исходя из порядкового номера списка обучающихся в журнале.

Рассчитать:

1. Ток, потребляемый из сети. Исходные данные взять из таблицы .
2. Выбрать вводной автоматический выключатель для защиты электрической сети исходя из ряда номинальных токов автоматических выключателей (1А; 2А ; 3А; 4А; 5А; 6А; 8А; 10А; 13А, 16А; 20А; 25А; 32А; 35А; 40А; 50А; 63А).
3. Выбрать сечение вводного вначале медного, а затем алюминиевого двухжильного кабеля и проверить его по потере напряжения, если длина кабеля от источника питания до ввода в здание l метров.

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Рл, Вт	20	75	95	120	40	60	110	10	15	25	40	60	100	30
n, шт.	10	20	50	60	30	100	70	50	20	30	10	40	50	30
Рн.э кВт	1,2	0,9	0,7	0,6	1	2	1,5	0,5	3	1	1,5	0,8	0,5	1
m, шт.	2	2	3	4	3	2	4	4	5	3	2	2	5	1
Рпотр кВт	2	1,5	0,5	3	1	1,5	0,8	0,5	1	1,2	0,9	0,7	0,6	1

$l, \text{ м}$	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	350	400
№ Вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Рл, Вт	40	60	100	30	20	75	95	120	40	60	110	10	15	25
n, шт.	20	30	10	40	50	30	10	20	50	60	30	100	70	50
Рн.э кВт	1	1,5	0,8	0,5	1	1,2	0,9	0,7	0,6	1	2	1,5	0,5	3
m, шт.	2	2	3	4	3	2	4	4	5	3	2	2	5	1
Рпотр кВт	0,8	0,5	1	1,2	0,9	0,7	0,6	1	2	1,5	0,5	3	1	1,5
$l, \text{ м}$	150	60	70	80	90	100	120	140	150	160	110	130	90	180

Формулы для расчета:

$$I = P / (U \cdot \cos \varphi) \quad I_{н АВ} \geq 1,25 I_{сети}$$

Потеря напряжения в линии определяется по следующей формуле:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot R_{пр}, \quad \text{где } R_{пр} = \rho \cdot l / s, \quad \text{где } s - \text{сечение проводника}$$

ρ -удельное сопротивление проводника.

Для меди: $\rho = 0,0172 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$; Для алюминия: $\rho = 0,0282 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$

Допустимые потери напряжения в линии 5% от номинального напряжения сети .

Шкала стандартных сечений жил проводов и кабелей.
Допустимые токовые нагрузки на них в амперах согласно ПУЭ

Провод кругл.		Алюм		3-ж кабель		2-ж кабель		Алюм		резинов, полихлорвинил провода в трубе, А			
Сечен, S, мм ²	Ф, мм	Сечен, S, мм ²		ток, А в возд.	ток, А в земле	ток, А в возд.	ток, А в земле	Сечен, S, мм ²		открытая	2 одно-жил-ных	3 одно-жил-ных	4 одно-жил-ных
0,5	0,79												
0,75	0,98	2,5		19	29	21	34	2		21	19	18	15
1	1,13	4		27	38	29	42	2,5		24	20	19	18
1,2	1,24	6		32	46	33	55	4		32	28	26	23
1,5	1,38	10		42	70	55	80	6		39	36	32	30
2	1,6	16		60	90	70	105	10		55	50	47	39
2,5	1,78	25		75	115	90	135	16		80	65	60	55
3	1,95	35		90	140	105	160	25		105	85	80	70
4	2,26	50		110	175	135	205	35		130	100	95	85
5	2,52	70		140	210	165	245	50		165	140	130	120
6	2,76	95		170	255	200	295	70		210	175	165	140
8	3,19	120		200	295	230	340	95		255	215	200	175
10	3,57	150		235	335	270	390						
16	4,51	185		270	385	310	440						
25	5,61			*поправочный коэф. на 4-ж кабель К=0,92									
35	6,68												
МЕДЬ		3-ж кабель		2-ж кабель		МЕДЬ		резинов, полихлорвинил провода в трубе, А					
Сечен, S, мм ²		ток, А в возд.	ток, А в земле	ток, А в возд.	ток, А в земле	Сечен, S, мм ²		открытая	2 одно-жил-ных	3 одно-жил-ных	4 одно-жил-ных		
0,5						0,5		11	10	9	8,5		
0,75						0,75		15	14	13	12,5		
1						1		17	16	15	14		
1,5		19	27	19	33	1,2		20	18	16	15		
2,5		25	38	27	44	1,5		23	19	17	16		
4		35	49	38	55	2		26	24	22	20		
6		42	60	50	70	2,5		30	27	25	25		
10		55	90	70	105	3		34	32	28	26		
16		75	115	90	135	4		41	38	35	30		
25		95	150	115	175	5		40	42	39	34		
35		120	180	140	210	6		50	46	42	40		
50		145	225	175	265	10		80	70	60	50		
70		180	275	215	320	16		100	85	80	75		
95		220	330	260	385	25		140	115	100	90		
120		260	385	300	445	35		170	135	125	115		
150		305	435	350	505	50		215	185	170	150		
185		350	500	405	570	70		270	225	210	185		

Вывод:

Текущий контроль при выполнении заданий в рамках выполнения практического занятия позволяет оценить усвоенные знания 31, 32

3.9.Практическое занятие № 9.

Расчёт электрической нагрузки на участке ВЛ 0,38 кВ

Усвоение умений и знаний:

У1.Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

У2.Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;

31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Ход работы:

Исходя из работы электроприемников цеха и их мощностей, заданных в таблице 1, определить:

1. Установленную мощность (P_y) всех электроприемников.
2. Составить суточный график нагрузки цеха.
3. Из графика определить максимальную нагрузку P_{max}
4. Определить среднюю суточную нагрузку P_{cp} .
5. Определить коэффициент использования установленной мощности $K_{и} = P_{cp} / P_y$
6. Определить коэффициент спроса $K_c = P_{max} / P_y$

Работа электропотребителей цеха:

В цехе предусмотрена 2-х сменная работа оборудования. Работа 1-й смены - с 7-00 до 16-00
. Работа 2-й смены – с 16-00 до 24-00.

С 24 часов до 7-00 станки и основное освещение выключаются, а включается аварийное освещение.

Мощность аварийного освещения $P_{авар.}$

Мощность основного освещения $P_{осв.}$

Во время смен включается вытяжная вентиляция. Общая мощность двигателей вентиляции $P_{вент.}$

Круглосуточно работает сушильная печь мощностью $P_{суш.}$

В цехе работают непрерывно всю смену 5 токарных станков.

Мощность **одного** токарного станка $P_{ток.}$

10 фрезерных станков – работают по 4 часа в смену: с 7-00 до 11 -00 и с 16-00 до 20-00;

Мощность **одного** фрезерного станка $P_{фр.}$

12 сверлильных станков - работают по 3 часа в смену: с 12-00 до 15 -00; с 21-00 до 24-00

Мощность одного сверлильного станка $P_{св.}$

Таблица 1

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
-----------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----

$P_{\text{авар ВТ}}$	200	320	240	100	120	150	250	350	140	180	400	80	75	340
$P_{\text{осв. кВт}}$	1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4
$P_{\text{вент, кВт}}$	5	3	4	2	6	6,5	4,5	3,5	2,2	3,0	4,0	5,5	7,5	5,5
$P_{\text{суш ил кВт}}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	9	11
$P_{\text{ТОК кВт}}$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5
$P_{\text{ФР. кВт}}$	0,5	0,7	0,8	0,9	0,6	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
$P_{\text{СВ кВт}}$	0,5	0,7	0,8	0,9	0,6	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
№ Вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$P_{\text{авар ВТ}}$	100	150	330	50	100	420	450	500	550	600	650	700	750	150
$P_{\text{осв. кВт}}$	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	4
$P_{\text{вент, кВт}}$	7	7,5	8	8,5	9	9,5	4,5	6	3,5	8	3,0	4,0	7	10
$P_{\text{суш кВт}}$	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	30	20	10	12
$P_{\text{ТОК кВт}}$	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5
$P_{\text{ФР. кВт}}$	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2
$P_{\text{СВ кВт}}$	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2

Вывод: Текущий контроль при выполнении заданий в рамках выполнения практического занятия позволяет оценить усвоенные умения и знания У1, У2, 31, 32.

4. Практические занятия по МДК.02.02. Организация и планирование бесперебойного энергообеспечения предприятий АПК

4.1. Практическое занятие № 1.

Расчет эквивалентного сопротивления для расчета токов короткого замыкания

Усвоение умений и знаний:

- У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- У2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;
- З1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- З2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Методика расчета токов КЗ, приведенная ниже, позволяет определить значение периодической составляющей полного тока КЗ для начального момента времени, т. е. действующее значение сверхпереходного тока. Именно эта величина является расчетной для выбора параметров устройств РЗА. Как известно, при разработке и эксплуатации устройств РЗА помимо начальных значений токов и напряжений требуется также знать изменение расчетных величин во времени на отдельных участках схемы. Однако при учете действия установленных на генераторах автоматических регуляторов и форсировки возбуждения токи в ветви КЗ (как фазные, так и отдельных последовательностей) в большинстве случаев не очень заметно изменяются во времени, в особенности при несимметричных КЗ и больших удаленностях места КЗ от генерирующих источников. Однако поскольку КЗ в электрической цепи представляет собой сложный режим, сопровождающийся переходным процессом, в целях упрощения практических расчетов принят ряд допущений, которые, как показывают анализ осциллограмм и опыт эксплуатации устройств РЗА, незначительно сказываются на точности результатов расчетов. К основным допущениям относятся [3, 4]: – в электрической системе отсутствуют качания, т. е. не учитывают угол сдвига между электродвижущими силами (ЭДС) параллельно работающих генераторов; – отсутствует насыщение магнитных систем генераторов, трансформаторов, двигателей; – практически не учитывают емкостную проводимость ЛЭП, за исключением линий напряжением выше 330 кВ значительной протяженности (≥ 150 км); – не учитывают токи намагничивания трансформаторов и автотрансформаторов; – не учитывают активные сопротивления генераторов, трансформаторов, реакторов из-за их незначительной величины по сравнению с индуктивными сопротивлениями; – не учитывают незначительную несимметрию трехфазных электрических систем (неравенство сопротивлений фаз); – не учитывают активное сопротивление ЛЭП, если $R_{\text{л}} < 1/3 X_{\text{л}}$; 5 – как правило, не учитывают влияние нагрузки в процессе КЗ. Исключение составляют отдельные расчеты, в которых учет нагрузки ведется для начального момента КЗ, так как в этот момент электродвигатели являются дополнительными источниками и подпитывают точку КЗ. Это происходит в том случае, если узел нагрузки, в которой преобладает двигательная нагрузка, расположен вблизи места КЗ и КЗ сопровождается значительным снижением напряжения. Расчеты токов КЗ для релейной защиты проводят, как правило, в именованных единицах приближенным методом, используя систему симметричных составляющих. Первоначально на электрической схеме защищаемой сети намечают расчетные точки КЗ. Обычно это сборные шины разных напряжений всех подстанций сети, начало, середина и конец каждой линии. Затем составляют схемы замещения прямой (обратной) и нулевой последовательностей, на которых также указывают места расчетных точек КЗ. В дальнейшем производят выбор расчетных режимов для защит, вычисляют полные токи в месте КЗ и находят распределение токов по ветвям схемы. 1.2. Составление расчетной схемы Расчетная схема является изображением первичной схемы сети в однофазном исполнении, на которой указывают паспортные данные всех входящих в нее элементов, имеющих электрическое сопротивление, – генераторов, трансформаторов, ЛЭП, реакторов, электродвигателей. Если необходимо учесть питание места КЗ от энергосистемы, параллельно работающей с рассчитываемой сетью, в расчетную схему вводят эквивалентный

генератор с сопротивлением, равным эквивалентному сопротивлению энергосистемы, и ее эквивалентная ЭДС [4, 5]. На основании расчетной схемы составляют схему замещения, в которой все перечисленные элементы заменяют своими электрическими сопротивлениями. Для источников питания обязательно указывают ЭДС. Расчет токов КЗ сводится к определению токов и напряжений на основной ступени, а значения истинных токов и напряжений на других ступенях напряжения находят обратным пересчетом в соответствии с коэффициентом трансформации трансформаторов. При расчете токов КЗ в именованных единицах выбирают среднее номинальное напряжение $U_{ср.ном}$, соответствующее основному напряжению сети, к которому приводят сопротивления всех элементов сети.

Схема замещения двухобмоточного трансформатора

В схему замещения трансформатора входит общее сопротивление обеих его обмоток без учета сопротивления ветви намагничивания.

В паспортных данных, как правило, указывают следующую информацию: S_n – полная мощность трансформатора, МВ·А;

$U_{вн}$ – номинальное междуфазное напряжение обмотки высшего напряжения, кВ; $U_{нн}$ – номинальное междуфазное напряжение обмотки низшего напряжения, кВ;

u_k – напряжение короткого замыкания, %. Для трансформаторов, имеющих устройство регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), дополнительно необходимо иметь значения диапазона регулирования напряжения и напряжений u_k , %, соответствующие крайним положениям РПН. Значение u_k , %, практически равно полному сопротивлению трансформатора в относительных единицах. У трансформаторов мощностью 1 МВ·А и более активное сопротивление значительно меньше индуктивного и им можно пренебречь,

Особенности расчетов сопротивлений трансформаторов с учетом регулирования напряжения на стороне ВН.

Практически все современные понижающие трансформаторы распределительных сетей напряжением 35 кВ и выше имеют РПН, цель которых – поддерживать на шинах НН трансформатора номинальное напряжение при эксплуатационных изменениях напряжения на стороне ВН. Для таких трансформаторов дополнительно необходимо иметь значения диапазона регулирования напряжения и напряжений короткого замыкания u_k , соответствующие крайним положениям РПН. При уменьшении коэффициента трансформации ($-\Delta U_{РПН}$) сопротивление $x_{тр}$ уменьшается по сравнению со средним его значением; при увеличении коэффициента трансформации ($+\Delta U_{РПН}$) – увеличивается. Значения u_k при среднем положении регулятора РПН ($u_{кр}$), а также крайних положений РПН u_{kmax} и u_{kmin} указываются в паспорте трансформатора или могут быть получены из табличных данных. Эти значения отнесены к номинальной мощности трансформатора и напряжениям среднего и крайних ответвлений регулируемой обмотки соответственно. Крайнему «минусовому» ответвлению ($-\Delta U_{РПН}$) соответствует u_{kmin} , крайнему «плюсовому» ответвлению ($+\Delta U_{РПН}$) – u_{kmax} . Для перечисленных выше трансформаторов значения $x_{тр}$ определяются для всех трех положений РПН.

Схема замещения воздушных и кабельных линии электропередачи

Для расчета необходимо знать удельные параметры, т. е. гуд – удельное активное сопротивление 1 км линии, Ом/км; худ – удельное реактивное сопротивление 1 км линии, Ом/км; l – длина линии, км. В схему замещения линия входит полным сопротивлением z_l , Ом: $z_l = g_l + jx_l$, где $g_l = g \cdot l$; $x_l = x \cdot l$. (23) Удельные сопротивления линий указаны в электротехнических справочниках в зависимости от типа опоры, марки провода и его сечения. Для линий 110 кВ и выше активное сопротивление проводов не учитывают. При напряжении 330 кВ и выше обычно учитывают емкостную проводимость линий. Для линий 35 кВ и ниже учитывают и активное сопротивление проводов.

1.2.10. Обобщенная нагрузка Если необходимо учесть подпитку места короткого замыкания в сети 6 (10) кВ от узла нагрузки, в которой преобладают асинхронные двигатели напряжением до 1000 В, вводится понятие «обобщенная нагрузка». Обобщенную нагрузку принято представлять в практических расчетах индуктивным сопротивлением $x_{нагр}^* = 0,35$ (табл. 2). Это сопротивление включает в себя сопротивление короткого замыкания двигателей $d^* \cdot x''$ и сопротивление питающей их распределительной сети (трансформаторов 6 (10)/0,4 кВ и кабелей 0,4 кВ). Сопротивление отнесено к суммарной мощности нагрузки $S_{н\sum}$ и номинальному напряжению U_n .

4.2. Практическое занятие №2

Расчет составляющих тока короткого замыкания

Цель работы:

Усвоение умений и знаний:

- У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- У2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;
- З1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- З2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Коротким замыканием называется соединение между двумя точками сети с разными потенциалами, не предусмотренное нормальными условиями работы установки. Полный ток короткого замыкания представляет собой сумму двух составляющих: вынужденной, имеющей периодический характер и свободной, имеющей аperiodический характер.

Расчет тока трехфазного симметричного металлического короткого замыкания.

Целевая задача расчета режима короткого замыкания состоит в определении значений токов, напряжений и мощностей в любом месте электрической сети при аварии, выборе и проверке электрических аппаратов и проводников по условиям КЗ, а также в аналитической проверке режима работы генераторов электростанций, по результатам которой возможно проведение уточняющего расчета. Поэтому в расчетную схему должны быть включены все источники энергии, влияющие на значение тока короткого замыкания: синхронные генераторы и компенсаторы; синхронные и асинхронные электродвигатели при мощности последних более 100 кВт при условии отделения их от расчетной точки КЗ токоограничивающим реактором или силовым трансформатором. При значительной электрической удаленности частей электрической системы их можно представить в виде одного источника энергии с неизменным внутренним сопротивлением, равным эквивалентному сопротивлению заменяемой части системы, и неизменной по амплитуде ЭДС.

Пример определение сопротивления обмоток трансформатора

Для трехфазного трансформатора с заданными параметрами определить коэффициент мощности холостого хода $\cos \varphi_0$; коэффициент мощности $\cos \varphi$ при нагрузках $\beta = 0,7$ и $\cos \varphi_2 = 1$; $\beta = 0,7$ и $\cos \varphi_2 = 0,75$; сопротивления первичной и вторичной обмоток r_1 и x_1 , r_2 и x_2 ; расчетные сопротивления z_0 , r_0 и x_0 ; угол магнитных потерь δ .

Параметры трансформатора:

Группа соединений – Y/ Y₀ = 0.

Номинальная мощность $S_n = 40$ кВА.

Номинальные напряжения $U_{1n} = 10000$ В, $U_{20} = 230$ В.

Напряжение короткого замыкания $U_k = 4,5\%$.

Мощность короткого замыкания $P_k = 880$ Вт.

Мощность холостого хода $P_0 = 180$ Вт.

Ток холостого хода $I_0 = 3\%$

Решение.

1. Определяем ток первичной обмотки и коэффициент трансформации:

$$I_{1n} = S_n / (\sqrt{3} U_{1n}) = 40000 / (\sqrt{3} * 10000) = 2,31 \text{ А} \quad I_{1n} = 2,31 \text{ А}$$

$$K = U_{1n} / U_{20} = 10000 / 230 = 43,5 \quad K = 43,5$$

2. Определяем ток холостого хода и коэффициент мощности холостого хода $\cos \varphi_0$:

$$I_0 = 3\% \text{ от } I_{1n}, \text{ то } I_0 = 0,03 * 2,31 = 0,07 \text{ А}$$

$$\cos \varphi_0 = P_0 / (\sqrt{3} U_{1n} * I_0) = 180 / (\sqrt{3} * 10000 * 0,07) = 0,148 \quad \varphi_0 = 81,5^\circ$$

3. Определяем угол магнитных потерь.

$$\delta = 90^\circ - \varphi_0 = 90 - 81,5^\circ = 8,5^\circ \quad \delta = 8,5^\circ$$

4. Определяем сопротивления обмоток.

а) сопротивления короткого замыкания:

$$z_k = U_{k.\phi} / I_{k.\phi} = U_{k.\phi} / \sqrt{3} I_{1n} = 0,045 * 10000 / (\sqrt{3} * 2,31) = 112,5 \text{ Ом}$$

$I_{k.\phi} = I_{1n}$, т.к. при опыте короткого замыкания по первичной обмотке протекает номинальный ток.

$$r_k = P_k / (3 * I_{k.\phi}^2) = P_k / (3 * I_{1n}^2) = 880 / (3 * 2,31^2) = 55 \text{ Ом}$$

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{112,5^2 - 55^2} = 98 \text{ Ом}$$

б) сопротивления первичной обмотки:

$$r_1 = r_2' = r_k / 2 = 55 / 2 = 27,5 \text{ Ом} \quad x_{\sigma 1} = x_{\sigma 2}' = x_k / 2 = 98 / 2 = 49 \text{ Ом}$$

в) сопротивления вторичной обмотки:

$$r_2 = r_2' / K^2 = 27,5 / 43,5^2 = 0,015 \text{ Ом} \quad x_{\sigma 2} = x_{\sigma 2}' / K^2 = 49 / 43,5^2 = 0,026 \text{ Ом}$$

5. Определяем сопротивления намагничивающей цепи:

$$z_0 = U_{1n.\phi} / I_0 = 10000 / (\sqrt{3} * 0,07) = 82479 \text{ Ом} \approx 82,5 \text{ кОм}$$

$$r_0 = P_0 / (3 * I_0^2) = 180 / (3 * 0,07^2) = 12245 \text{ Ом} \approx 12,2 \text{ кОм}$$

$$x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2} = \sqrt{82,5^2 - 12,2^2} \approx 81,6 \text{ кОм}$$

Практическое занятие №3

Выбор автоматических выключателей для защиты сетей жилых зданий

Цель работы:

Усвоение умений и знаний:

У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

У2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;

31. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Задание .

В здании на фазное напряжение подключены n ламп мощностью $P_{л}$, m нагревательных элементов мощность $P_{н.э.}$; и остальные потребители общей мощностью $P_{потр.}$. $\cos \varphi$ взять 0,9.

Вариант задания выбрать из таблицы 1 исходя из порядкового номера списка обучающихся в журнале.

Рассчитать:

- Ток, потребляемый из сети. Исходные данные взять из таблицы 1
- Выбрать вводной автоматический выключатель для защиты электрической сети исходя из ряда номинальных токов автоматических выключателей (1А; 2А; 3А; 4А; 5А; 6А; 8А; 10А; 13А; 16А; 20А; 25А; 32А; 35А; 40А; 50А; 63А).
- Выбрать сечение вводного вначале медного, а затем алюминиевого двухжильного кабеля и проверить его по потере напряжения, если длина кабеля от источника питания до ввода в здание l метров.

Таблица 1

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$P_{л}$ Вт	20	75	95	120	40	60	110	10	15	25	40	60	100	30
n , шт.	10	20	50	60	30	100	70	50	20	30	10	40	50	30
$P_{н.э.}$ кВт	1,2	0,9	0,7	0,6	1	2	1,5	0,5	3	1	1,5	0,8	0,5	1
m , шт.	2	2	3	4	3	2	4	4	5	3	2	2	5	1
$P_{потр}$ кВт	2	1,5	0,5	3	1	1,5	0,8	0,5	1	1,2	0,9	0,7	0,6	1
l , м	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	350	400
№ Вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$P_{л}$ Вт	40	60	100	30	20	75	95	120	40	60	110	10	15	25
n , шт.	20	30	10	40	50	30	10	20	50	60	30	100	70	50
$P_{н.э.}$ кВт	1	1,5	0,8	0,5	1	1,2	0,9	0,7	0,6	1	2	1,5	0,5	3
m , шт.	2	2	3	4	3	2	4	4	5	3	2	2	5	1
$P_{потр}$ кВт	0,8	0,5	1	1,2	0,9	0,7	0,6	1	2	1,5	0,5	3	1	1,5
l , м	150	60	70	80	90	100	120	140	150	160	110	130	90	180

Формулы для расчета:

$$I = P / (U * \cos \varphi)$$

$$I_{н.ав} \geq 1,25 I_{сети}$$

Потеря напряжения в линии определяется по следующей формуле:

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot R_{\text{пр}}, \quad \text{где } R_{\text{пр}} = \rho \cdot l / s, \quad \text{где } s - \text{сечение проводника}$$

ρ -удельное сопротивление проводника.

Для меди: $\rho = 0,0172 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$; Для алюминия: $\rho = 0,0282 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$

Допустимые потери напряжения в линии 5% от номинального напряжения сети .

Шкала стандартных сечений жил проводов и кабелей.
Допустимые токовые нагрузки на них в амперах согласно ПУЭ

Провод кругл.		Алюм Сечен, S, мм ²	3-ж кабель		2-ж кабель		Алюм Сечен, S, мм ²	резинов, полихлорвинил провода в трубе, А			
Сечен, S, мм ²	Ф, мм		ток, А в возд.	ток, А в земле	ток, А в возд.	ток, А в земле		откры- тая	2 одно- жиль- ных	3 одно- жиль- ных	4 одно- жиль- ных
0,5	0,79										
0,75	0,98	2,5	19	29	21	34	2	21	19	18	15
1	1,13	4	27	38	29	47	2,5	24	20	19	18
1,2	1,24	6	32	45	38	55	4	32	28	26	23
1,5	1,38	10	42	70	55	80	6	39	36	32	30
2	1,6	16	60	90	70	105	10	55	50	47	39
2,5	1,78	25	75	115	90	135	16	80	65	60	55
3	1,95	35	90	140	105	160	25	105	85	80	70
4	2,26	50	110	175	135	205	35	130	100	95	85
5	2,52	70	140	210	165	245	50	165	140	130	120
6	2,76	95	170	255	200	295	70	210	175	165	140
8	3,19	120	200	295	230	340	95	255	215	200	175
10	3,57	150	235	335	270	390					
16	4,51	185	270	385	310	440					
25	5,61		*поправочный коэф. на 4-ж кабель К=0,92								
35	6,68										
		МЕДЬ Сечен, S, мм ²	3-ж кабель		2-ж кабель		МЕДЬ Сечен, S, мм ²	резинов, полихлорвинил провода в трубе, А			
ток, А в возд.	ток, А в зем- ле		ток, А в возд.	ток, А в земле	ток, А в возд.	ток, А в земле		откры- тая	2 одно- жиль- ных	3 одно- жиль- ных	4 одно- жиль- ных
0,5							0,5	11	10	9	8,5
0,75							0,75	15	14	13	12,5
1							1	17	16	15	14
1,5	19	27	19	33	1,2	20	1,2	20	18	16	15
2,5	25	38	27	44	1,5	23	1,5	23	19	17	16
4	35	49	38	55	2	26	2	26	24	22	20
6	42	60	50	70	2,5	30	2,5	30	27	25	25
10	55	90	70	105	3	34	3	34	32	28	26
16	75	115	90	135	4	41	4	41	38	35	30
25	95	150	115	175	5	40	5	40	42	39	34
35	120	180	140	210	6	50	6	50	46	42	40
50	145	225	175	265	10	80	10	80	70	60	50
70	180	275	215	320	16	100	16	100	85	80	75
95	220	330	260	385	25	140	25	140	115	100	90
120	260	385	300	445	35	170	35	170	135	125	115
150	305	435	350	505	50	215	50	215	185	170	150
185	350	500	405	570	70	270	70	270	225	210	185

Вывод: Текущий контроль при выполнении заданий в рамках выполнения практического занятия позволяет оценить усвоенные умения и знания У1, У2, З1, З2.

4.4. Практическое занятие № 4

Выбор автоматического выключателя для защиты цепей двигателя от короткого замыкания

Цель работы:

Усвоение умений и знаний:

- У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- У2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания.
- З1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- З2. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Исходя из паспортных данных трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, включенного в сеть с линейным напряжением **380 В** промышленной частоты, **определить:**

1. Номинальный ток двигателя.
2. Пусковой ток двигателя.

- Номинальный ток трехфазного автоматического выключателя.
- Выбрать марку автоматического выключателя исходя из ряда номинальных токов автоматических
- Определить ток электромагнитного расцепителя автоматического выключателя, сравнить его с пусковым током двигателя.
- Номинальную скорость двигателя при номинальном скольжении $S_H = 5\%$.

Технические данные асинхронных двигателей с к.з. ротором.

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
n_1 об/мин	1000	1500	750	3000	1000	1500	750	3000	1000	1500	750	3000	750	1500
P, кВт	0,12	0,18	0,25	0,37	0,55	0,75	1,1	1,5	2,2	3,0	4	5,5	7,5	11
кпд, %	50	50	55	60	60	60	65	65	65	70	70	70	75	75
I_n/I_n	7	7	7,5	7,5	7,5	7	7	7	7	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Cos φ	0,7	0,7	0,76	0,86	0,86	0,87	0,87	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,9	0,92

№ Вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
n_1 об/мин	1000	1500	750	3000	1000	1500	750	3000	1000	1500	750	3000	750	1500
P, кВт	15	18,5	22	30	37	45	55	75	15	22	3,0	4,0	11	15
Cos φ	0,7	0,7	0,76	0,86	0,86	0,87	0,87	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,9	0,92
I_n/I_n	7	7	7,5	7,5	7,5	7	7	7	7	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
кпд, %	80	80	80	80	85	85	85	85	90	90	90	90	90	85

Формулы

$$1. I_{ном.дв.} = \frac{P_{н.дв.}}{\sqrt{3} * U_{л} * \cos \varphi * \eta} \quad \text{Где } P_{н.дв.} - \text{мощность в Вт}$$

$$2. I_{пуск.} = k I_{ном.дв.}, \text{ где } k = I_n/I_n$$

3. Ток автоматического выключателя выбирается исходя из условия:

$$I_{наб} \geq 1,25 * I_{ном.дв.}$$

Выбрать марку автоматического выключателя исходя из ряда номинальных токов автоматических выключателей (1А; 2А; 3А; 4А; 5А; 6А; 8А; 10А; 13А; 16А; 20А; 25А; 32А; 35А; 40А; 50А; 63А; 80А; 100А; 125А; 160А; 250А; 320А; 400А; 630А; 1000А).

$$4. n_H = n_1 (1 - S_H), \text{ где } S_H \text{ берется в долях от единицы.}$$

$$5. I_{эм. ав} \geq 1,25 * I_{пуск.дв.}$$

6. Число пар полюсов статора двигателя определяется из выражения:

$$n_1 = 60 f / p, \text{ отсюда определить } p \text{ при частоте питающей сети } f = 50 \text{ Гц.}$$

4.5. Практическое занятие 5

Выбор проводников по продолжительным режимам работы

Цель работы:

Усвоение умений и знаний:

У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

З1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

Исходя из паспортных данных трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, включенного в сеть с линейным напряжением **380 В** промышленной частоты, **определить:**

1. Номинальный ток двигателя.
2. Пусковой ток двигателя.
3. Номинальную скорость двигателя при номинальном скольжении $S_N = 5\%$.
4. Определить сечение силовых проводов из таблицы исходя из условия нагрева и падения напряжения. Длина силовых проводов L задана в таблице в зависимости от варианта. Для четного варианта взять материал проводов - медь, для нечетного – алюминий. Допустимое падение напряжения взять равным 5% от номинального напряжения.
5. Выбрать марку кабеля и сделать расшифровку каждой буквы и цифры.

Технические данные асинхронных двигателей с к.з. ротором.

№ Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$n_{1\text{об/мин}}$	1000	1500	750	3000	1000	1500	750	3000	1000	1500	750	3000	750	1500
$P, \text{ кВт}$	0,12	0,18	0,25	0,37	0,55	0,75	1,1	1,5	2,2	3,0	4	5,5	7,5	11
$\eta, \%$	50	50	55	60	60	60	65	65	65	70	70	70	75	75
I_n/I_N	7	7	7,5	7,5	7,5	7	7	7	7	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
$\cos \varphi$	0,7	0,7	0,76	0,86	0,86	0,87	0,87	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,9	0,92
$L, \text{ м}$	50	60	70	80	90	100	120	140	150	160	110	130	170	180
№ Вар.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$n_{1\text{об/мин}}$	1000	1500	750	3000	1000	1500	750	3000	1000	1500	750	3000	750	1500
$P, \text{ кВт}$	15	18,5	22	30	37	45	55	75	15	22	3,0	4,0	11	15
$\cos \varphi$	0,7	0,7	0,76	0,86	0,86	0,87	0,87	0,85	0,87	0,88	0,89	0,91	0,9	0,92
I_n/I_N	7	7	7,5	7,5	7,5	7	7	7	7	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
$\eta, \%$	80	80	80	80	85	85	85	85	90	90	90	90	90	85
$L, \text{ м}$	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300	350	400

Формулы

$$1. \quad I_{\text{ном.дв.}} = \frac{P_{\text{н.дв.}}}{\sqrt{3} * U_{\text{л}} * \cos \varphi * \eta} \quad \text{Где } P_{\text{н}} - \text{мощность в Вт}$$

$$2. \quad I_{\text{пуск.}} = k I_{\text{ном.дв.}}, \quad \text{где } k = I_{\text{н}} / I_{\text{н}}$$

$$3. \quad n_{\text{н}} = n_1 (1 - S_{\text{н}}), \quad \text{где } S_{\text{н}} \text{ берется в долях от единицы.}$$

4 Число пар полюсов статора двигателя определяется из выражения:
 $n_0 = 60 f / p$, отсюда определить p при частоте питающей сети $f = 50$ Гц.

5. Сечение четырехжильного кабеля выбрать из таблицы.

Удельное сопротивление ρ : Для меди: $\rho = 0,0172 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$

Для алюминия: $\rho = 0,0282 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$

Сопротивление провода:

$$R_{\text{пр.}} = \rho * L / S_{\text{ст}}, \quad \text{где } S_{\text{ст}} - \text{стандартное сечение провода, в мм}^2 \text{ (взято из таблицы)}$$

Потери напряжения для трехфазной сети:

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_{\text{н дв}} * R_{\text{пр}} \text{ (В)}$$

$$\Delta U \% = \Delta U * 100 / U \text{ (%)}$$

L – длина провода

ρ – удельное сопротивление провода $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$;

Для алюминиевых проводов $\rho = 0,0282 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$;

Для медных проводов $\rho = 0,0172 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$;

U – номинальное напряжение сети, В; $U = 380 \text{ В}$

Сечение жил кабеля выбрано правильно, если выполняется условие:

$\Delta U \leq 5 \%$ - для электродвигателей животноводческих комплексов.

Если при расчете получилось падение напряжения больше 5 %, увеличиваем сечение провода (из таблицы), а затем опять проверяем на падение напряжения.

Шкала стандартных сечений жил проводов и кабелей.
 Допустимые токовые нагрузки на них в амперах согласно ПУЭ

Провод кругл.		Алюм		3-ж кабель		2-ж кабель		Алюм		резинов, полихлорвинил провода в трубе, А			
Сечен, S, мм ²	Ф, мм	Сечен, S, мм ²	ток, А в возд.	ток, А в земле	ток, А в возд.	ток, А в земле	ток, А в возд.	Сечен, S, мм ²	ток, А в возд.	открытая	2 одно-жильных	3 одно-жильных	4 одно-жильных
0,5	0,79												
0,75	0,98	2,5	19	29	21	34		2	21	19	18	15	
1	1,13	4	27	38	29	47		2,5	24	20	19	18	
1,2	1,24	6	32	45	33	55		4	32	28	26	23	
1,5	1,38	10	42	70	55	80		6	39	36	32	30	
2	1,6	16	60	90	70	105		10	55	50	47	39	
2,5	1,78	25	75	115	90	135		16	80	65	60	55	
3	1,95	35	90	140	105	160		25	105	85	80	70	
4	2,26	50	110	175	135	205		35	130	100	95	85	
5	2,52	70	140	210	165	245		50	165	140	130	120	
6	2,76	95	170	255	200	295		70	210	175	165	140	
8	3,19	120	200	295	230	340		95	255	215	200	175	
10	3,57	150	235	335	270	390							
16	4,51	185	270	385	310	440							
25	5,61	*поправочный коэф. на 4-ж кабель K=0,92											
35	6,68												
МЕДЬ		3-ж кабель		2-ж кабель		Алюм		резинов, полихлорвинил провода в трубе, А					
Сечен, S, мм ²	Ф, мм	Сечен, S, мм ²	ток, А в возд.	ток, А в земле	ток, А в возд.	ток, А в земле	Сечен, S, мм ²	открытая	2 одно-жильных	3 одно-жильных	4 одно-жильных		
1,5			19	27	19	33	0,5	11	10	9	8,5		
2,5			25	38	27	44	0,75	15	14	13	12,5		
4			35	49	38	55	1	17	16	15	14		
6			42	60	50	70	1,2	20	18	16	15		
10			55	90	70	105	1,5	23	19	17	16		
16			75	115	90	135	2	26	24	22	20		
25			95	150	115	175	2,5	30	27	25	25		
35			120	180	140	210	3	34	32	28	26		
50			145	225	175	265	4	41	38	35	30		
70			180	275	215	320	5	40	42	39	34		
95			220	330	260	385	6	50	46	42	40		
120			260	385	300	445	10	80	70	60	50		
150			305	435	350	505	16	100	85	80	75		
185			350	500	405	570	25	140	115	100	90		
							35	170	135	125	115		
							50	215	185	170	150		
							70	270	225	210	185		

4.6. Практическое занятие № 6

Схемы соединения трансформаторов тока

Цель работы:

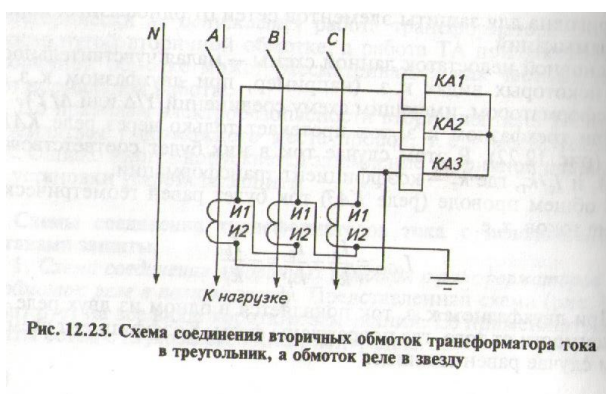
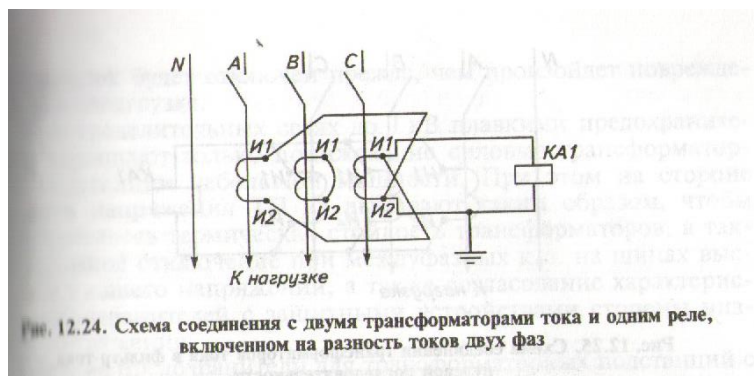
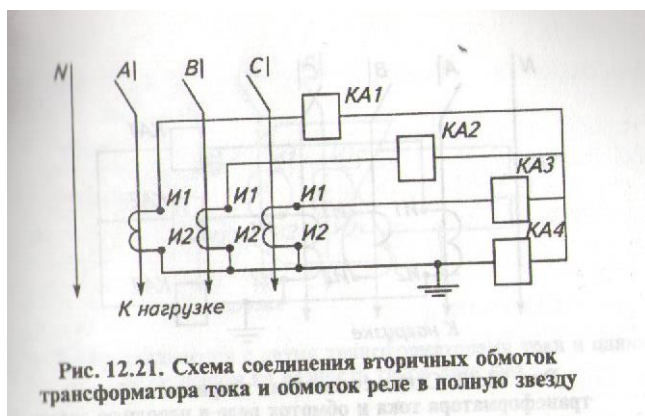
Усвоение умений и знаний:

- У1. Рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;
- 32. Рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания

Задание

Начертить и объяснить работу схем включения трансформаторов тока :

1. Соединение вторичных обмоток трансформаторов тока и обмоток реле в полную звезду.
- 2 Соединение вторичных обмоток трансформаторов тока и обмоток реле в неполную звезду.
3. Соединение вторичных обмоток трансформаторов тока в треугольник, а обмоток реле в звезду.
4. Схему соединения с двумя трансформаторами тока и одним реле, включенном на разность токов двух фаз.



4.7.Практическое занятие №7

Устройство реле тока, реле напряжения, реле времени

Основные характеристики реле

Независимо от вида и принципа действия реле, выделяют несколько параметров, на которые обращают внимание при выборе этого прибора:

- Время срабатывания – промежуток времени между поступлением управляющего сигнала и воздействием на управляемые цепи.
- Коммутируемая мощность – допустимая мощность электроцепи или электроустановки, которой будет управлять реле.
- Уставка – обычно это регулируемый параметр, который определяет величину поступающего параметра (тока, напряжения, частоты, давления, температуры), при которой происходит срабатывание реле.

Виды реле: контактные и бесконтактные

По устройству исполнительного компонента реле делят на контактные и бесконтактные.

Контактные

Воздействуют на управляемую цепь с помощью электрических контактов. Их размыкание или замыкание полностью разъединяет или замыкает электроцепь. Для изготовления контактов используются: медь, серебро, вольфрам. Количество контактов – до 10 штук. Четырех- и пятиконтактные реле используются в электрических схемах автомобилей для включения и переключения цепей.

Бесконтактные

Такие реле воздействуют на управляемую цепь способом изменения электрических параметров выходных электроцепей – емкости, сопротивления, индуктивности, величины тока или напряжения.

Классификация реле по способу включения

Первичные

Эти устройства включаются непосредственно в цепь элемента, для защиты которого они предназначены. Их преимущества – не требуются измерительные трансформаторы, источники оперативного тока, контрольные кабели.

Вторичные

Подключаются в цепь с использованием вторичных трансформаторов. Это наиболее распространенный вид реле. Их преимущества – изоляция от высокого напряжения, возможность расположить устройство в месте, удобном для обслуживания. Вторичные реле выпускаются стандартными. Они рассчитаны на ток 5 (1) А и напряжение 100 В и могут устанавливаться в любые электроцепи, независимо от их тока и напряжения.

Виды реле по назначению

По назначению эти устройства бывают трех типов – управления, защиты, сигнализации.

Реле управления

Эти реле являются первичными. Монтируются непосредственно в электроцепь. Их роль – включение и выключение отдельных элементов схемы. Могут использоваться самостоятельно или в качестве комплектующих низковольтных комплектных устройств – ящиков, панелей, шкафов.

Реле защиты

Выполняют функции включения, отключения и защиты устройств, имеющих термические контакты – электродвигателей, вентиляторов. При превышении температуры термические

контакты размыкаются. Оборудование может восстановить работу только после остывания термоконтактов до установленной температуры.

Сигнализации

Такие реле устанавливаются в охранных системах автотранспорта, предприятий, придомовых территорий. Служат для формирования сигнала при достижении установленной величины параметра, который находится под контролем (ток, напряжение, частота, давление, температура, акустические параметры и другие).

Разновидности электромеханических реле

Наиболее распространенный вид электрических реле – электромеханические. К ним относятся: электромагнитные, индукционные, электротепловые устройства.

Электромагнитные

Один из видов электрических реле электромагнитное. В конструкции этого устройства имеются: обмотка со стальным сердечником, группа подвижных контактов, замыкающих и размыкающих управляемую электроцепь. Рассмотрим принцип их действия:

- На катушку сердечника подается управляющий ток.
- В сердечнике под воздействием электрического тока создается магнитное поле, притягивающее контактную группу.
- В зависимости от типа реле, контакты замыкают или размыкают электрическую цепь.

Разновидность электромагнитных реле – поляризованные, которые отличаются от нейтральных способностью реагировать на полярность управляющего сигнала. Размыкание или замыкание контактов зависит от полярности подключения электромагнита. Обладают более высокой чувствительностью, по сравнению с нейтральными реле. Такие устройства могут использоваться только в цепях постоянного тока.

Электротепловые (термические)

Тепловые реле представляют собой комплекс биметаллических пластин, для изготовления которых используются металлы с разным коэффициентом расширения при нагреве. Такие реле могут использоваться в качестве защитных устройств: при превышении температуры, установленной регулятором, контакты разъединяются, и поступление тока на потребителя прекращается.

Обычно тепловые реле используются в бытовых одно- и трехфазных сетях при подключении электрических двигателей. При увеличении нагрузки на двигатель выше установленной величины происходит нагрев биметаллического реле, которое при достижении определенной температуры размыкает электрическую цепь. Двигатель прекращает работу. После остывания биметаллических пластин цепь замыкается и двигатель возобновляет работу. Термические устройства могут оснащаться колесиком, с помощью которого регулируется температура отключения двигателя, и кнопкой принудительного запуска.

Существует разновидность термических реле, в которых биметаллические пластины заменены легкоплавящимся сплавом. Они срабатывают практически мгновенно – при достижении определенной температуры металл расплавляется и цепь размыкается. Принцип действия таких устройств похож на принцип действия предохранителей. После срабатывания такое реле, установленное непосредственно на оборудовании в качестве последней защиты от перегорания, подлежит замене.

Индукционные

Принцип действия этих устройств основан на взаимодействии между переменными магнитными потоками и токами, которые формируют переменные магнитные потоки. Индукционные приборы рассчитаны только на использование в цепях переменного тока. Существуют три типа индукционных реле – с рамкой, диском, цилиндрическим ротором («стаканом»). Эти устройства широко востребованы в системах релейной защиты и автоматики.

Другие виды электрических реле

Твердотельные

Эти электронные устройства компактны и долговечны, благодаря отсутствию трущихся механических частей. Работу механики здесь выполняют полупроводниковые элементы – биполярные и МОП-транзисторы, тиристоры, симисторы. По сравнению с твердотельными, они имеют следующие преимущества:

- Низкий уровень шума при работе.
- Очень высокая наработка на отказ, которая в 100 раз и более превышает ресурс электромагнитных устройств.
- Быстродействие, составляющее доли миллисекунд, у электромагнитных 50 мс – 1с.
- Электропотребление ниже на 95 %.

Однако твердотельные реле имеют не только достоинства, но и недостатки. Одним из них является слабая устойчивость к импульсным перенапряжениям, которые электромагнитным реле практически не страшны. При использовании твердотельных реле необходимо предусмотреть схемотехническое решение, которое ограничивает эти импульсы. Есть и еще минусы – нагрев при работе, наличие токов утечки, приводящих к наличию напряжения на фазном проводе даже при отключенном реле.

Твердотельные реле применяют в системах регулирования температуры, в которых в качестве нагревателей используются ТЭНы, в промышленной автоматике, телеметрии, механизмах оборудования, используемого в металлургической и химической промышленности, в медоборудовании, военной электронике.

Герконовые

Реле этого типа представляют собой герконовую катушку. Это баллон, заполненный инертным газом, или внутри которого создан вакуум. Внутри баллона располагают соединительные элементы из пермаллоя – прецизионного сплава (сплава с точно заданным химическим составом), включающего железо и никель. Эти соединительные элементы имеют вид проволоки с контактами. Их покрывают серебряным или золотым напылением. Геркон размещают в середине электрического магнита или в пределах действия его поля. При подаче тока на обмотку электромагнита образуется магнитный поток, который запирает контакты. Герконовые реле могут выполнять функции: замыкающие, переключающие, размыкающие. Преимущества этих устройств – компактные габариты, доступная цена, отсутствие трущихся частей, что продлевает срок службы. Тот факт, что контактная группа располагается в инертном газе или вакууме и надежно защищена от влаги, повышает надежность реле.

При использовании герконовых реле следует избегать:

- близкого присутствия источника ультразвука, который будет негативно влиять на работоспособность;
- воздействия постороннего магнитного поля;
- механических повреждений.

Колба изготавливается обычно из стекла, поэтому ее нужно всячески оберегать от механических воздействий. При разбитой колбе контактная группа срабатывать не будет. Герконовые реле можно использовать только в системах, в которых параметры электропитания находятся в пределах, установленных в технической документации. При подаче слишком высоких токов произойдет размыкание контактов. Нарушения в работе герконовых реле наблюдаются и в случаях подачи тока слишком низкой частоты.

Фотоэлектронные (фотореле)

Основой фотоэлектронного реле является полупроводниковый элемент – фоторезистор, сопротивление которого изменяется в зависимости от изменения освещенности. Фотореле – прибор, широко применяемый коммунальными службами. Он надежен в работе и обеспечивает существенную экономию электроэнергии и безопасность на улицах. При повышении освещенности все осветительное оборудование отключается, а при наступлении

темноты – включается. Большинство таких приборов оснащено регулятором порога срабатывания и механическим выключателем.

Виды реле по типу поступающего параметра

По этому параметру разделяют реле: тока, мощности, частоты, напряжения, давления, акустических величин, количества газа. Устройства могут быть максимальными и минимальными. Реле, которые срабатывают при превышении заданной величины, называют «максимальными», а при ее падении ниже заданного уровня – «минимальными».

Реле тока

Реле тока реагируют на резкие перепады тока и при необходимости отключают отдельную нагрузку или всю систему электроснабжения. Величина максимального тока, при которой необходимо отключить потребителей, устанавливается регулятором.

Реле напряжения

Реле напряжения реагируют на величину напряжения и включаются через трансформаторы напряжения. Используются для контроля фаз напряжения в электросетях и защиты электроприборов. Основой такого реле является контроллер быстрого реагирования, отслеживающий отклонения напряжения за установленные пределы. Общепринятый стандарт срабатывания таких реле – ниже 170 В и выше 250 В.

4.6. Практическое занятие №8

Схемы максимальной токовой защиты

Принцип действия МТЗ

В силу разных причин аварии в электросетях случаются довольно часто. При коротком замыкании губительно действует на все электроприборы сверхток. Если не предпринять защитных мер, то последствием от неуправляемого увеличения тока может стать не только повреждение электроустановок на участке от места аварии до источника питания, но и выведение из строя всей энергосистемы. Во избежание негативных последствий, вызванных авариями, применяются разные схемы электрозащиты:

отсечка;

дифференциально-фазная;

высокоэффективная максимальная токовая защита электрических цепей (МТЗ).

Из перечисленных видов защиты самой распространённой является МТЗ. Этот простой и надёжный способ предотвращения опасных перегрузок линий нашёл широкое повсеместное применение благодаря обеспечению селективности, то есть, обладанию способностью избирательно реагировать на различные ситуации.

Между узлом задержки и токовым реле существует зависящая связь, благодаря которой отключение происходит **не на начальной стадии возрастания тока**, а спустя некоторое время после возникновения нештатной ситуации. Данный промежуток времени слишком короткий для того, чтобы величина тока достигла критического уровня, способного навредить

защищаемой цепи. Но этого хватает для предотвращения возможных ложных срабатываний защитных устройств.

Отличия МТЗ от токовой отсечки

Из всех видов защиты по надёжности лидирует токовая отсечка. Примером может служить защита бытовой электросети устройствами с применением плавких предохранителей или пакетных автоматов. Метод токовых отсечек гарантирует обесточивания защищаемой цепи в аварийных ситуациях. Но для возобновления подачи электроэнергии необходимо устранить причину отсечения и заменить предохранитель, либо включить автомат.

Недостатком такой системы является то, что отключение может происходить не только вследствие КЗ, но и в результате даже кратковременного превышения параметров по току нагрузки. Кроме того, требуется участие человека для восстановления защиты. Эти недостатки не критичны в бытовой сети, но они неприемлемы при защите разветвлённых линий электропередач.

Благодаря тому, что в конструкциях МТЗ **предусмотрены реле времени**, задерживающие срабатывание механизмов отсечения, они кратковременно игнорируют перепады напряжений. Кроме того, токовые реле сконструированы таким образом, что они возвращаются в исходное положение после ликвидации причины, вызвавшей размыкание контактов.

Именно эти два фактора кардинально отличают МТЗ от простых токовых отсечек, со всеми их недостатками.

Источник: <https://www.asutpp.ru/maksimalnaya-tokovaya-zaschita.html>

Устройство и принцип действия

Конструктивно МТЗ состоят из двух важных узлов: автоматического выключателя и реле времени. Они могут быть объединены в одной конструкции либо размещаться отдельными блоками.

Источник: <https://www.asutpp.ru/maksimalnaya-tokovaya-zaschita.html>

Реле времени отстроено на задержку на время пуска двигателя.

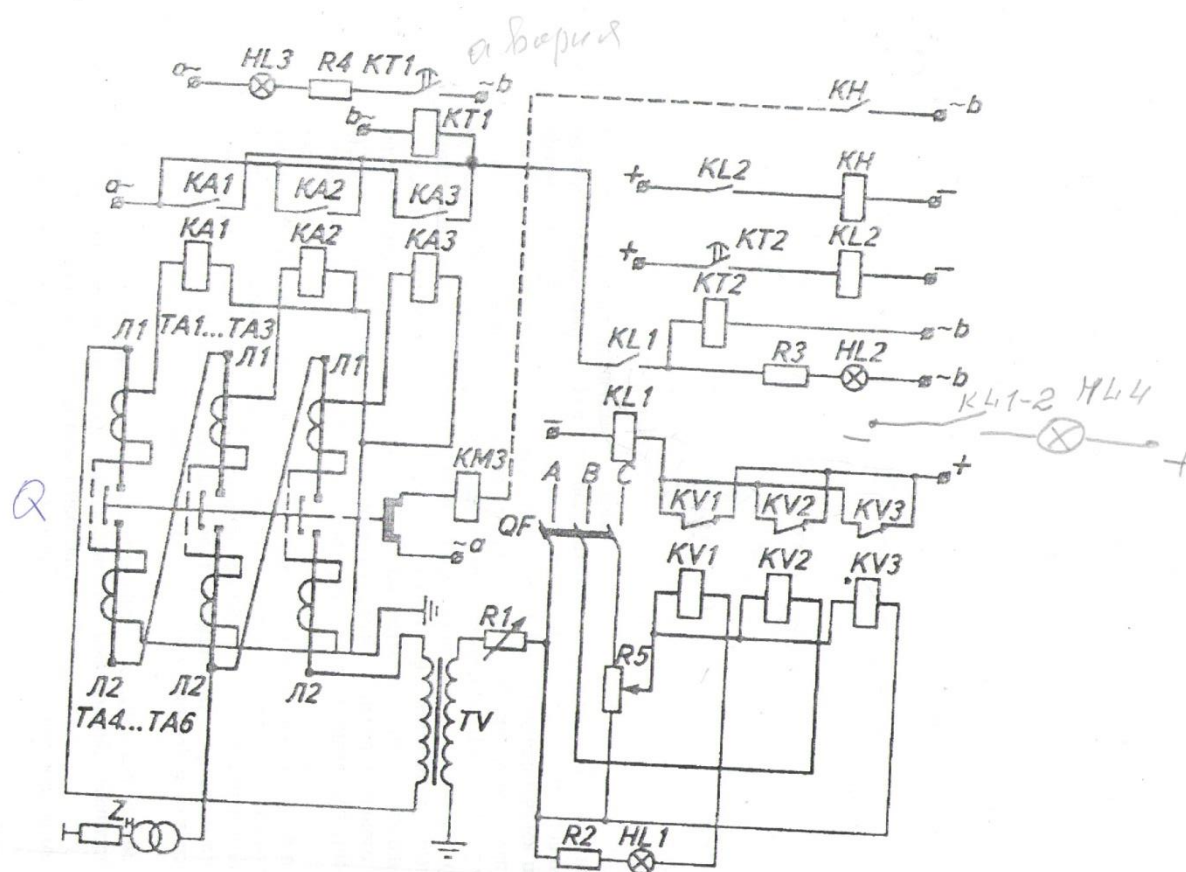
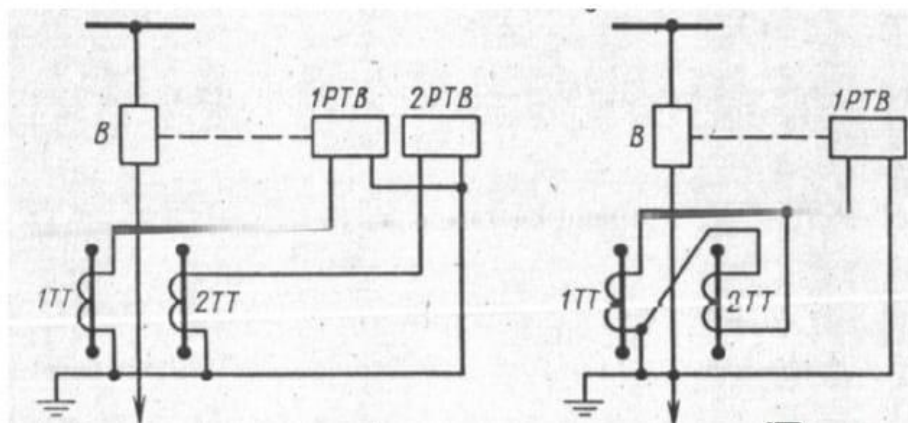


Рис. 12.31. Схема установки МТЗ с пуском от реле минимального напряжения

4.9. Практическое занятие 9

Схемы дифференциальной токовой защиты

Дифференциальная токовая защита (ДТЗ)

Принцип действия ДТЗ основан на сравнении токов. Если такое сравнение происходит непосредственно по концам защищаемого участка, ДТЗ носит название **продольной** дифференциальной токовой защиты, которую используют обычно для защиты генераторов, трансформаторов, двигателей, для линий небольшой протяженности.

Если речь идет о параллельных цепях,

практически не имеющих отличий (или мало отличающихся) по параметрам, такую дифференциальную защиту называют *поперечной дифференциальной защитой*. Эту ДТЗ применяют для защиты элементов системы электроснабжения и электрооборудования, имеющих параллельные цепи.

Рисунок 1 – поперечная дифференциальная токовая защита

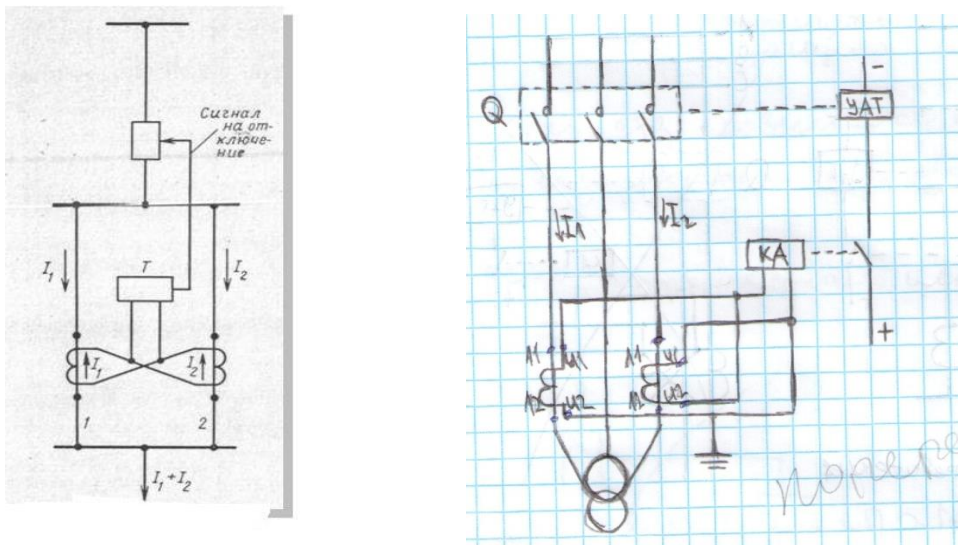
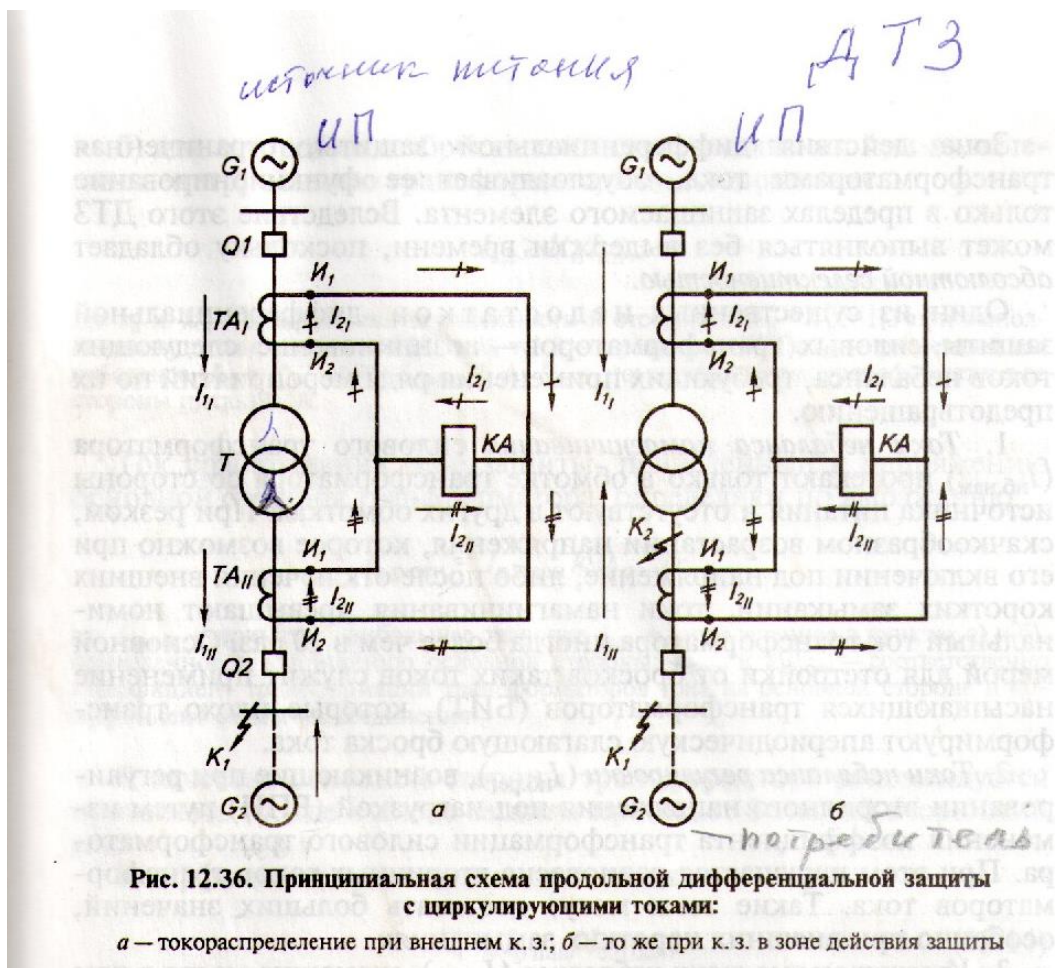


Рисунок 1 – поперечная дифференциальная токовая защита



Продольная дифференциальная защита трансформаторов происходит следующим образом (рис. 12.36).

В нормальном режиме работы ток, протекающий в обмотке реле, называемый *током небаланса*, определяется разностью токов: $I_p = I_{2I} - I_{2II} = I_{нб}$. При отсутствии аварийного режима (или при к. з. во внешней цепи) ток срабатывания защиты (который должен быть больше тока небаланса) недостаточен для действия защиты, при этом токи во вторичных обмотках трансформаторов токов циркулируют по соединительным проводам.

В момент короткого замыкания через реле начнет протекать ток $I_p = I_{2II}$, и если ток $I_p > I_{с.р.}$, произойдут срабатывание защиты и отключение поврежденного элемента. Если короткое замыкание

Достоинства дифференциальной токовой защиты: быстроедействие, довольно высокая чувствительность, простота и надежность исполнения. Основной недостаток ДТЗ - использование её только в пределах защищаемой зоны. Так как защита не реагирует на внешние к.з., она не может обеспечивать резервирования при повреждении на смежных участках. Поэтому её установка в качестве единственной защиты недопустима.

4.10. Практическое занятие 10

Схемы автоматического включения резерва

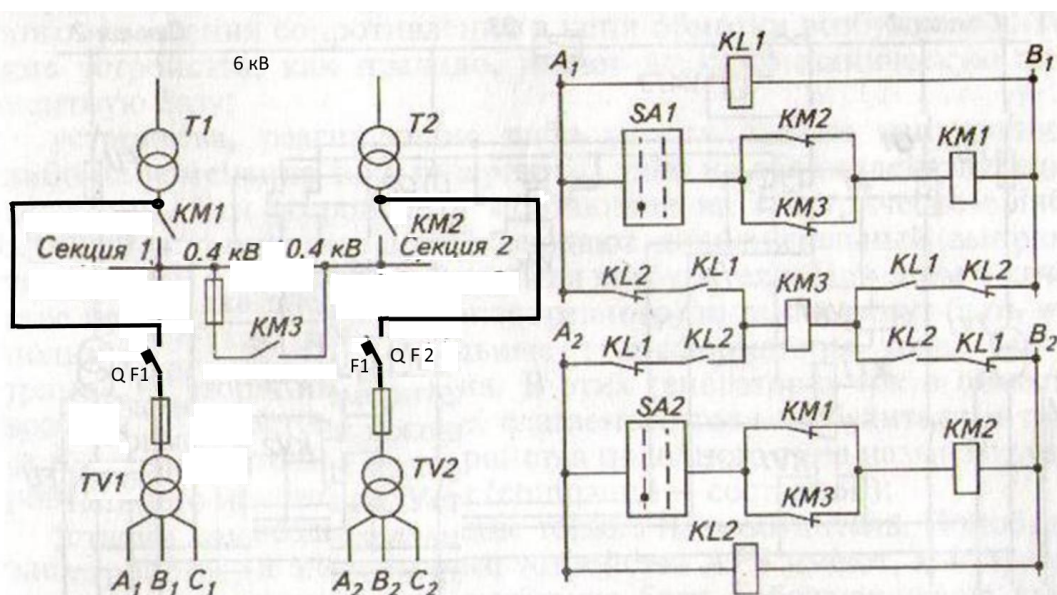


Рис. 12.54. Схема АВР в сети до 1 кВ с секционным контактором переменного тока

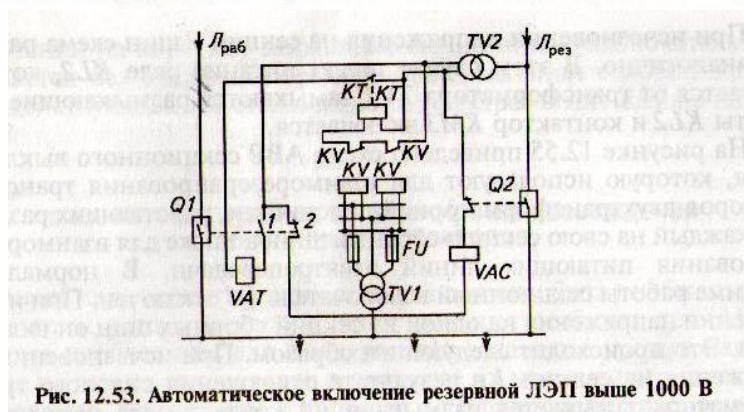
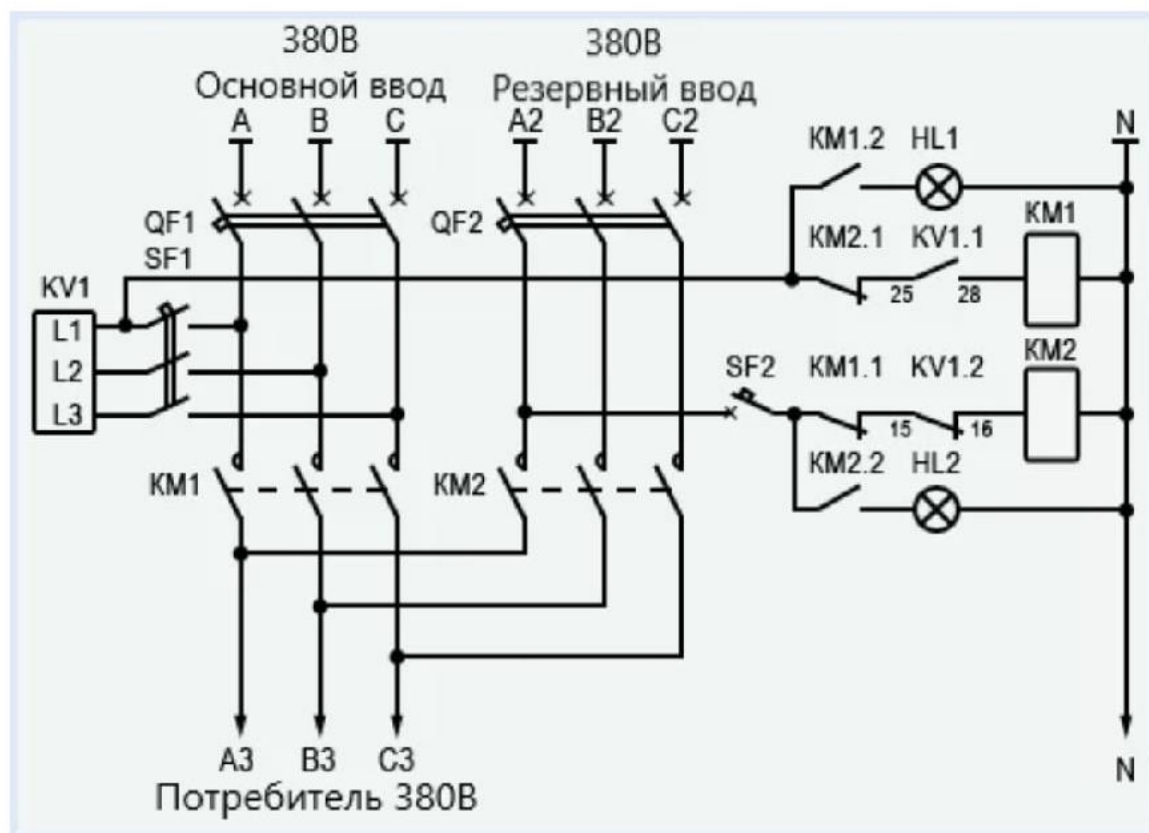


Рис. 12.53. Автоматическое включение резервной ЛЭП выше 1000 В

На рисунке 12.53 приведена наиболее распространенная схема АВР линии выше 1000, на которой обозначено: *TV1* — трансформатор напряжения, предназначенный для питания реле минимального напряжения *KV*; *TV2* — трансформатор напряжения, подключенный к резервной линии и предназначенный для: а) питания отключающей катушки *VAT* выключателя *Q1* рабочей линии $L_{\text{раб}}$; б) питания выключющей катушки *VAC* выключателя *Q2* резервной линии $L_{\text{рез}}$.

Схема работает следующим образом. В нормальном режиме выключатель *Q1* включен, а выключатель *Q2* выключен. При этом контакты реле *KV* и *KT* разомкнуты. При исчезновении напряжения на шинах замыкаются контакты реле *KV* и реле *KT* включается в цепь трансформатора напряжения *TV2*. Срабатывая, реле *KT* включает катушку отключения *VAT*, под действием которой отключается выключатель *Q1*. При этом размыкается его вспомогательный контакт *Q2*, посредством которого в цепь трансформатора *TV2* вводится катушка включения *VAC* выключателя *Q2*, включающего резервную линию $L_{\text{рез}}$.

Пример схемы Автоматического Ввода Резерва с применением реле контроля фаз

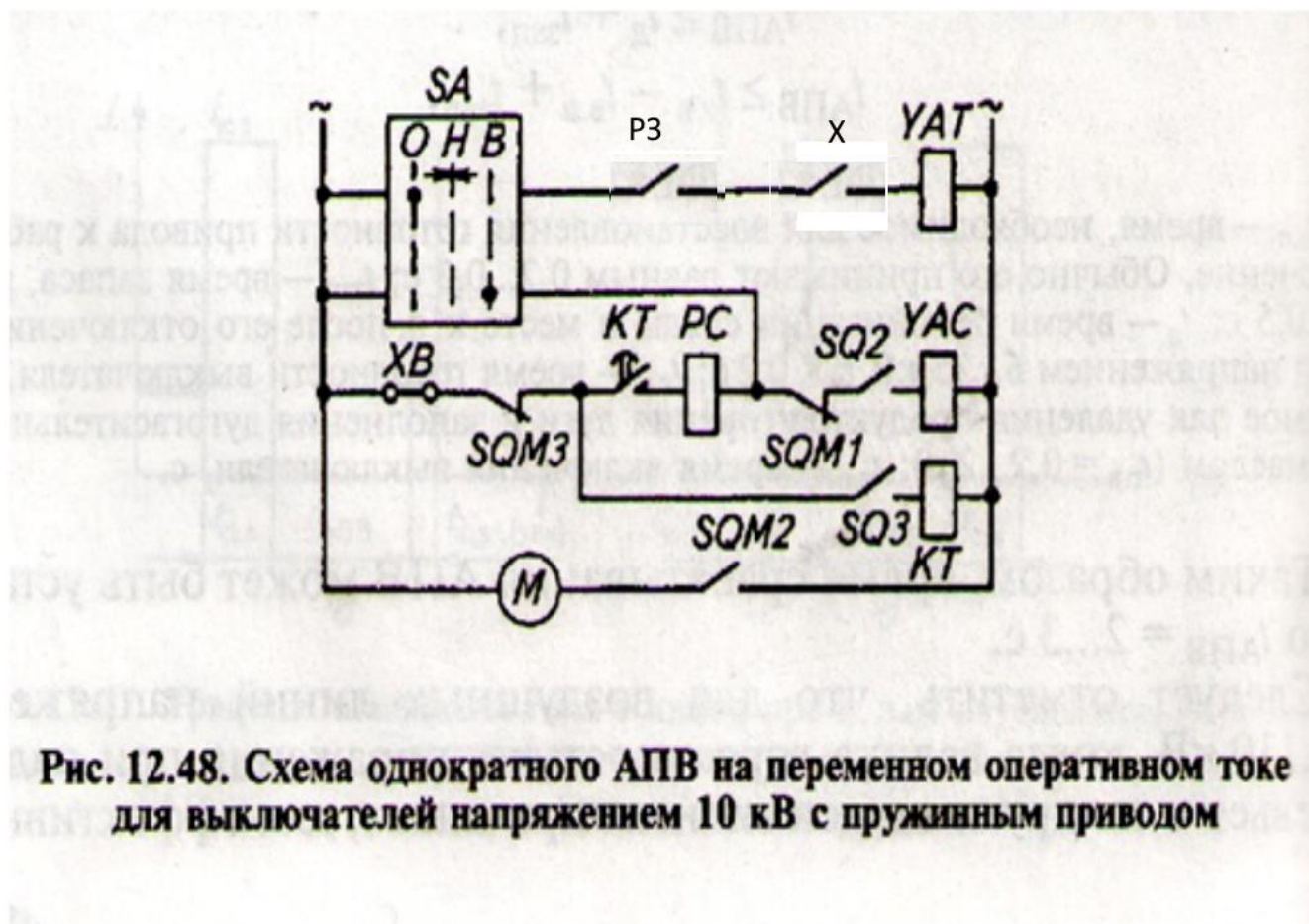


Реле контроля фаз
KV1



Контактор
KM

Схемы автоматического повторного включения



Для определения *выдержки времени на возврат АПВ* в состояние готовности используют следующее выражение:

$$t_{\text{АПВ}} \geq t_{\text{АПВ1}} + t_{\text{в.в}} + t_{\text{с.з max}} + t_{\text{о.в}} + t_{\text{зап}}, \quad (12.18)$$

где $t_{\text{в.в}}$, $t_{\text{о.в}}$ — соответственно время включения и отключения выключателя, с;
 $t_{\text{с.з max}}$ — максимальное время срабатывания защиты, с.

Обычно для однократных АПВ принимают время $t_{\text{АПВ}} = 15...25$ с, а для двукратных время возврата в состояние готовности после второго цикла $t_{\text{АПВ2}} = 60...1000$ с.

Схемы устройств АПВ. Схемы устройств АПВ выполняют на переменном, выпрямленном и постоянном оперативном токе.

На схеме (рис. 12.48) положения вспомогательных контактов выключателя $SQ1...SQ3$ и привода $SQM1...SQM3$ соответствуют включенному состоянию выключателя и заведенному положению привода (включающие пружины растянуты). Специальный вспомогательный контакт привода $SQM3$ переключается только при отключении выключателя ключом SA . При срабатывании релейной защиты и отключении выключателя происходит замыкание контактов $SQ2$ и $SQ3$. При этом создается несоответствие положений выключателя и привода (выключатель отключен, а привод заведен для включения), что обуславливает необходимость пуска АПВ. Далее через контакты $SQM3$ и $SQ3$ подается напряжение на обмотку реле KT . Через заданное время замыкается проскальзывающий (временно замыкающийся на 0,5 с) контакт этого реле и подается напряжение на электромагнит включения YAC . При его срабатывании происходит освобождение механизма и соответ-

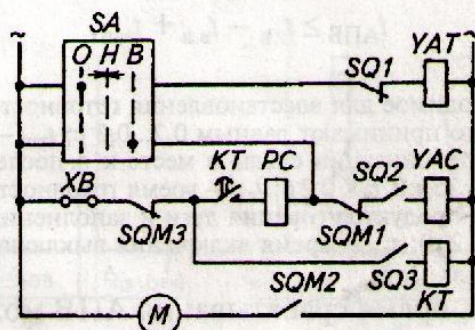


Рис. 12.48. Схема однократного АПВ на переменном оперативном токе для выключателей напряжением 10 кВ с пружинным приводом

5. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Оценки	Критерии оценок
«5»	- обучающийся подбирает необходимые для выполнения предлагаемых работ источники знаний (литература, материалы, инструменты), показывает необходимые для проведения практической работы теоретические знания. Правильно оформлена практическая часть работы, соблюдена технологическая последовательность выполнения данного вида работ. Работа оформлена аккуратно.
«4»	- практическая работа выполняется обучающимся в полном объеме и самостоятельно. Обучающийся использует указанные преподавателем источники информации. Могут быть неточности и небрежность в оформлении работы. Работа показывает знания обучающимися основного теоретического материала, но имеются незначительные ошибки при оформлении практической части работы.
«3»	- обучающийся выполняет и оформляет практическую работу полностью с помощью преподавателя или хорошо подготовленных и уже выполнивших на «отлично» данную работу других обучающихся.
«2»	- практическая работа не выполнена полностью за отведенное время по неуважительной причине.

6. ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.

1. Будьте внимательны и дисциплинированы, точно выполняйте указания преподавателя.
2. Не приступайте к выполнению задания без разрешения преподавателя.
3. Размещайте оборудование, приборы на своем рабочем месте таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
4. Перед выполнением работы необходимо внимательно изучить ее содержание и ход выполнения.
5. При проведении опытов не допускайте предельных нагрузок электроизмерительных приборов.
6. При работе с приборами из стекла соблюдайте особую осторожность.

7. Следите за исправностью всех креплений приборов и приспособлений. Не прикасайтесь и не наклоняйтесь к вращающимся частям машины.
8. При сборке экспериментальных установок используйте провода с наконечниками, предохранительными чехлами с прочной изоляцией без видимых повреждений.
9. При сборке электрической цепи избегайте пересечения проводов. Запрещается пользоваться проводниками с изношенной изоляцией и выключателями открытого типа.
10. Источник тока к электрической цепи подключайте в последнюю очередь.
11. Не допускайте попадания на электрооборудование сырости, грязи и посторонних предметов.
12. Собранную цепь включайте только после проверки и с разрешения преподавателя. Наличие напряжения в цепи можно проверять только приборами или указателями напряжения.
13. Не прикасайтесь к находящимся под напряжением элементам цепей, лишенных изоляции.
14. Не производите пересоединений в электрических цепях машин до полной остановки ротора машины.
15. Не прикасайтесь к корпусам стационарного оборудования, к зажимам отключенных конденсаторов.
16. Пользуйтесь инструментами с изолирующими ручками.
17. По окончании работы отключите источник электропитания, после чего разберите электрическую цепь.
18. Не оставляйте рабочее место без разрешения преподавателя.
19. Обнаружив неисправность в электрических устройствах, находящихся под напряжением, немедленно отключите источник электропитания и сообщите об этом преподавателю.
20. Для присоединения потребителей к сети пользуйтесь штепсельными соединениями.
21. При ремонте и работе электроприборов пользуйтесь розетками, гнездами, зажимами, выключателями с невыступающими контактными поверхностями.

6. СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Основные печатные издания

Основные печатные издания

1. Никитенко, Г. В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое проектирование: учебное пособие для среднего профессионального образования / Г. В. Никитенко, Е. В. Коноплев. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 312 с. — ISBN 978-5-8114-7280-2.

2. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление в сельском хозяйстве: учебное пособие для среднего профессионального образования / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 392 с. — ISBN 978-5-8114-6719-8.

4.2.2. Основные электронные издания

1. Никитенко, Г. В. Электрооборудование, электротехнологии и электроснабжение сельского хозяйства. Курсовое проектирование: учебное пособие для среднего профессионального образования / Г. В. Никитенко, Е. В. Коноплев. — Санкт-Петербург Лань, 2021. — 312 с. — ISBN 978-5-8114-7280-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/161635> (дата обращения: 29.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление в сельском хозяйстве: учебное пособие для среднего профессионального образования / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 392 с. — ISBN 978-5-8114-6719-8. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/151698> (дата обращения: 29.10.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.