Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Емец Валерий Сергеевич
Должность: Директор филиала
Дата подписания: 30.06.2026 12:32:57
Уникальный программный ключ:
f2b8a1573c931f1098cfe699d1debd94fcff35d7

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Рязанский институт (филиал)
федерального государственного автономного образовательного учреждения
высшего образования

Кафедра «Энергетические системы и точное машиностроение»

А.Ю. Мельников, Е.И. Лопатин

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Практикум

Рязань
2024

УДК 621.311
ББК 31.28
М48

Мельников, А.Ю.

М48 Эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения: практикум / А.Ю. Мельников, Е.И. Лопатин. – Рязань: Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2024. – 24 с.

Практикум предназначен для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения. Он соответствуют рабочей программе и применяется для проведения практических занятий по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения».

Методические указания содержат краткие теоретические сведения, рекомендации по решению практических задаий и индивидуальные задания студентам.

Печатается по решению методического совета Рязанского института (филиала) Московского политехнического университета.

УДК 621.311
ББК 31.28

© Мельников А.Ю., Лопатин Е.И.
© Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 2024

Содержание

Введение ……..… 4

1 Практическое задание № 1. Расчёт допустимости перегрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей …... 5

2 Практическое задание № 2. Расчёт мощности и напряжения, требуемых для плавки гололёда переменным или выпрямленным током …….. 8

3 Практическое задание № 3. Расчёт допустимости систематической перегрузки трансформатора и оценка износа витковой изоляции ……..….. 14

Заключение ……..……..…… 21

Библиографический список …….....….. 22

Введение

Практикум по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения» предназначен для студентов направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Выполнение практических заданий ставит целью закрепление изучаемого теоретического материала по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения», приобретение инженерных навыков расчёта эксплуатационных характеристи электрооборудования с учётом внешних воздействий, развитие творческих способностей студента при решении конкретно поставленной задачи.

Перед выполнением практических заданий необходимо рассмотреть исходные данные, изучить соответствующие теоретические вопросы и методику решения поставленных задач.

Для детального изучения теоретического материала следует использовать рекомендованную литературу.

Содержание отчёта о выполнении практического задания должно включать:

- постановку задачи;
- краткие теоретические сведения;
- подробные численные расчёты;
- анализ результатов.

Вариант индивидуального задания выдаётся преподавателем или принимается в соответствии с двумя последними цифрами шифра зачётной книжки студента.

1 Практическое задание № 1. Расчёт допустимости перегрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей

Цель задания: освоить методику расчёта режимов нагрузки кабельных линий.

Задача: Расчёт допустимости перегрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей.

1.1 Условия задачи и исходные данные

От главной понижающей подстанции промышленного предприятия к распределительному пункту (РП) проложена T лет назад кабельная линия напряжением U состоящая из n параллельных кабелей с алюминиевыми жилами сечением F. В настоящее время расчётная нагрузка РП составляет величину $S_р$.

Оценить допустимость нагрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей. При недопустимой перегрузке кабелей дать рекомендации по увеличению количества кабелей.

Исходные данные по вариантам приведены в таблицах 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1 – Исходные данные

Показатель	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение ВЛ U, кВ	110	220	330	500	750	110	220	330	500	750
Расчётная нагрузка $S_р$, МВ·А	7	9	12	11	13	17	8	12	14	14
Сечение провода F, мм^2	70	95	120	150	185	240	70	95	120	150
Количество кабелей n, шт.	4	4	4	3	3	3	5	5	5	4

Таблица 1.2 – Исходные данные

Показатель	Вариант (последняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество T, лет	5	10	16	19	8	12	6	18	17	20
Изоляция	БМ	П	В	Р	$П_в$	П	$П_в$	Р	БМ	В
Способ прокладки	тр.	откр.	тр.	откр.	откр.	тр.	откр.	откр.	тр.	тр.

Примечание:

1) изоляция: Б – бумага, пропитанная маслоканифольным составом; В – поливинилхлорид; П – полиэтилен; $П_в$ – сшитый полиэтилен; Р – резина;

2) способ прокладки: тр. – в земляной траншее; откр. – открыто.

1.2 Краткие теоретические сведения

По расчётной нагрузке $S_р$ и напряжению U определяется расчётный ток $I_р$. По таблице 1.3 определяется допустимый длительный ток одиночного кабеля $I_{доп}$ в соответствии с его изоляцией и способом прокладки.

Таблица 1.3 – Допустимый длительный ток одиночного кабеля

Показатель	Сечение кабеля F, мм^2					
	70	95	120	150	185	240
БМ	130 165	155 205	185 240	210 275	235 310	270 355
П, В, Р	140 210	170 255	200 295	235 335	270 385	320 430
$П_в$	235 210	285 250	330 280	370 320	425 360	505 415

Примечание – в числителе указан $I_{доп}$ при открытой прокладке кабелей, в знаменателе – при прокладке в земляной траншее

При параллельной прокладке кабелей на величину $I_{доп}$ вводится поправочный коэффициент k_n, учитывающий количество кабелей n по таблице 1.4.

Проверка допустимости нагрузки кабелей в нормальном режиме работы выполняется по условию

$$n \cdot k_n \cdot I_{доп} \geq I_р. \qquad (1.1)$$

При невыполнении этого условия дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей и повторить проверку.

Таблица 1.4 – Поправочный коэффициент k_n

Показатель	Количество кабелей n, шт.					
	1	2	3	4	5	6
k_n, о.е.	1 1	0,98 0,9	0,96 0,85	0,95 0,8	0,94 0,78	0,93 0,75

Примечание – В числителе указан k_n при открытой прокладке кабелей, в знаменателе – при прокладке в земляной траншее. При открытой прокладке параллельных кабелей в количестве более шести, принимать k_n = 0,92.

Необходимо иметь в виду, что при прокладке кабелей в траншее дополнительные кабели будут проложены в новой траншее.

При отключении одного из кабелей допускаются следующие аварийные перегрузки $k_{\text{пер}}$ оставшихся в работе кабелей:

- с бумажной пропитанной изоляцией – $k_{\text{пер}}$ = 1,3;

- с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке в земле (воздухе) – $k_{\text{пер}}$ = 1,23;

- с изоляцией из сшитого полиэтилена при прокладке в воздухе – $k_{\text{пер}}$ = 1,27;

- с резиновой изоляцией – $k_{\text{пер}}$ = 1,18;

- с изоляцией из поливинилхлорида и полиэтилена – $k_{\text{пер}}$ = 1,15.

Для кабелей с любой изоляцией, находящихся в эксплуатации более 15 лет, допустимая перегрузка должна быть снижена до 10 % – $k_{\text{пер}}$ = 1,1.

Допустимость перегрузки кабелей в аварийном режиме проверяется по условию

$$(n-1)\cdot k_{n-1}\cdot k_{\text{пер}}\cdot I_{\text{доп}} \geq I_{\text{р}}. \qquad (1.2)$$

Поправочный коэффициент $k_{n\text{-}1}$ определяется по таблице 1.4 для количества кабелей n-1. При невыполнении условия (1.2) дать рекомендации по

увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей повторить проверку.

В качестве аварийного следует принимать наиболее тяжёлый режим. Если по условиям (1.1) и (1.2) количество кабелей следует увеличить, то в качестве аварийного режима принимать отключение дополнительно проложенного нового кабеля.

1.3 Порядок решения задачи

1. По расчётной нагрузке $S_р$ и напряжению U определяется расчётный ток кабельной линии $I_р$.

2. По справочным данным [6, 12] определяется допустимый длительный ток одиночного кабеля $I_{доп}$ в соответствии с его изоляцией и способом прокладки. При параллельной прокладке кабелей на величину $I_{доп}$ вводится поправочный коэффициент k_n, учитывающий количество n кабелей.

3. Проверяется допустимости нагрузки кабелей в нормальном режиме работы. При невыполнении этого условия дать рекомендации по увеличению количества кабелей. Для нового количества кабелей повторить проверку.

4. При аварийном отключении одного из кабелей допускаются следующие перегрузки $k_{пер}$ оставшихся в работе кабелей (справочные данные).

5. Проверяется допустимость перегрузки кабелей в аварийном режиме проверяется. В качестве аварийного следует принимать наиболее тяжёлый режим.

2 Практическое задание № 2. Расчёт мощности и напряжения, требуемых для плавки гололёда переменным или выпрямлным током

Цель задания: Ознакомиться с основными способами плавки гололёда проводов ВЛ и определение оптимального.

Задача: Расчёт мощности *S* и напряжения *U*, требуемых для плавки гололёда проводов ВЛ переменным или выпрямленным током.

2.1 Условия задачи и исходные данные

Воздушная линия электропередачи (ВЛ), длиной *L*, с проводами сечением *F* проходит в районе интенсивного лавки гололёда проводов ВЛ. Для ВЛ предусматривается плавка лавки гололёда проводов, которая должна осуществляться от шин низкого напряжения 10 кВ подстанции, к которой эта ВЛ присоединена.

Рассчитать мощность *S* и напряжение *U*, требуемые для плавки лавки гололёда проводов ВЛ переменным или выпрямленным током.

Рекомендовать для своего варианта ВЛ конкретный способ плавки.

Исходные данные по вариантам приведены в таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1 – Исходные данные

Показатель	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Длина ВЛ L, км	30	25	35	40	30	45	50	35	60	55

Таблица 2.2 – Исходные данные

Показатель	Вариант (последняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сечение провода F, мм^2	70	95	120	120	150	150	185	185	240	240

2.2 Краткме теоретические сведения

Принципиальные схемы плавки лавки гололёда переменным или выпрямленным током приведены на рисунке 2.1.

При плавке лавки гололёда переменным током (рисунок 2.1а) ВЛ подключается к шинам от 6 до 10 кВ непосредственно. При плавке лавки гололёда выпрямленным током (рисунок 2.1б) ВЛ подключается к шинам

от 6 до 10 кВ через выпрямитель *UZ*. В обоих случаях на другом конце провода ВЛ замыкаются накоротко.

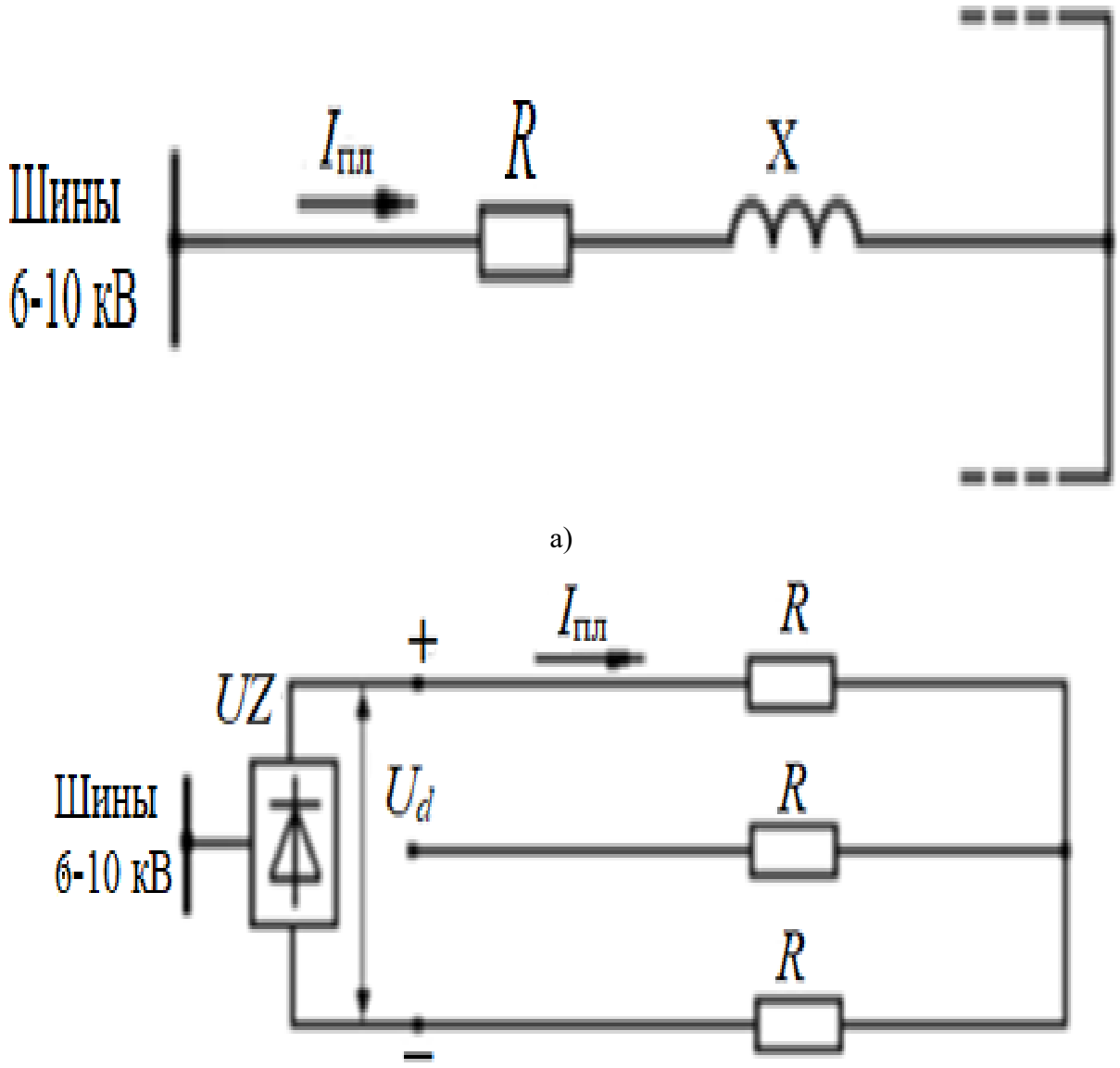

Рисунок 2.1 – Принципиальные схемы плавки гололёда переменным (а) и постоянным (б) током

Ток плавки $I_{пл}$ рекомендуется принимать равным от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$. Величина допустимого длительного тока $I_{доп}$ и удельных сопротивлений $r_о$ и $x_о$ для проводов различных сечений приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Допустимый длительный ток

F, мм^2	70	95	120	150	185	240
$r_о$, Ом/км	0,43	0,31	0,25	0,2	0,16	0,12
$I_{доп}$, А	265	330	390	450	510	610

Примечание – для проводов всех сечений принять $x_о$ = 0,4 Ом/км.

2.2.1 Плавка гололёда проводов переменным током

Плавка гололёда проводов переменным током (рисунок 2.1а).

1. Принять определённую величину тока плавки гололёдая $I_{пл}$.

2. Определить сопротивления проводов ВЛ (R, X и Z).

3. По величине тока $I_{пл}$ и полному сопротивлению Z вычислить *линейное* напряжение источника питания U и принять ближайшее номинальное напряжение.

4. По величинам $I_{пл}$ и U определить полную трёхфазную мощность S, требуемую для плавки гололёда.

2.2.2 Плавка гололёда проводов выпрямленным током

Плавка гололёда выпрямленным током (рисунок 2.1б).

1. Принять такую же величину тока плавки гололёда $I_{пл}$.

2. Определить активное сопротивление проводов R.

3. По принятой величине тока $I_{пл}$ и сопротивлению R вычислить напряжение на выходе выпрямителя U_d.

4. По величинам $I_{пл}$ и U_d рассчитать мощность на выходе выпрямителя P_d.

5. При определении мощности и линейного напряжения на входе выпрямителя использовать следующие приближённые выражения

$$S \cong P_d\,, \tag{2.1}$$

$$U \cong \frac{U_d}{\sqrt{2}}\,, \tag{2.2}$$

принять ближайшее номинальное напряжение.

2.3 Порядок решения задачи

1. Привести принципиальные схемы плавки гололёда переменным или выпрямленным током. При плавке гололёда переменным током ВЛ подключается к шинам 10 кВ непосредственно. При плавке гололёда

выпрямленным током ВЛ подключается к шинам 10 кВ через выпрямитель. В обоих случаях на другом конце ВЛ провода замыкаются накоротко.

2. Ток плавки $I_{пл}$ рекомендуется принимать в диапазоне от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$. Величины допустимого длительного тока $I_{доп}$ и удельных сопротивлений $r_о$ и $x_о$ для проводов различных сечений приведены таблице 2.3.

3. Плавка гололёда переменным током.

3.1. Принять величину тока плавки гололёда $I_{пл}$ в пределах от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$.

3.2. Определить сопротивления проводов ВЛ (R, X и Z).

3.3. По величине тока $I_{пл}$ и полному сопротивлению Z вычислить линейное напряжение $U_{пл}$, требуемое для плавки гололёда.

3.4. Принять ближайшее номинальное напряжение $U_{ном}$. Если это напряжение значительно отличается от 10 кВ, рекомендовать специальный трансформатор для плавки гололёда, например трансформатор 10/6 кВ, 10/20 кВ или 10/35 кВ.

3.5. Для принятого напряжения $U_{ном}$ рассчитать новое уточнённое значение тока плавки $I_{пл}'$.

3.6. По принятому напряжению $U_{ном}$ и величине уточненного тока плавки $I_{пл}'$ определить полную трёхфазную мощность $S_{пл}$, требуемую для плавки гололёда.

4. Плавка гололёда выпрямленным током.

4.1. Принять величину тока плавки гололеёда $I_{пл}$ в пределах от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$.

4.2. Определить активное сопротивление R одной фазы линии.

4.3. По принятой величине тока $I_{пл}$ и сопротивлению R вычислить напряжение на выходе выпрямителя U_d.

4.4. Определить фазный ток

$$I = 0{,}8I_{пл}, \qquad (2.3)$$

и линейное напряжение U на входе выпрямителя, для чего использовать приближенные выражения (2.2). Принять ближайшее номинальное напряжение $U_{ном}$, при необходимости рекомендовать специальный трансформатор для плавки гололёда.

4.5. Для принятого напряжения $U_{ном}$ рассчитать новые уточнённые значения тока плавки $I_{пл}'$ и фазного тока I' на входе выпрямителя. Ток плавки должен оставаться в пределах от 1,0 до 2,0 $I_{доп}$.

4.6. По принятому напряжению $U_{ном}$ и уточнённой величине фазного тока I' определить полную трёхфазную мощность $S_{пл}$ на входе выпрямителя, требуемую для плавки гололеда.

5. Выбрать для своего варианта высоковольтной линии способ плавки гололёда. При этом можно учесть следующие рекомендации:

- при отсутствии необходимости в установке специальных трансформаторов в обеих схемах плавки гололёда и двукратном и более отличии мощностей $S_{пл}$ отдать предпочтение схеме плавки гололёда выпрямленным током;

- при необходимости установки специального трансформатора для плавки гололёда переменным током и отсутствии такой необходимости для плавки гололёда выпрямленным током отдать предпочтение схеме плавки гололёда выпрямленным током;

- при необходимости установки специального трансформатора для плавки гололёда выпрямленным током и отсутствии такой необходимости для плавки гололёда переменным током отдать предпочтение схеме плавки гололёда переменным током;

- при необходимости установки специальных трансформаторов в обеих схемах плавки гололёда отдать предпочтение схеме плавки гололёда выпрямленным током.

3 Практическое задание № 3. Расчёт допустимости систематической перегрузки трансформатора и оценка износа витковой изоляции

Цель задания: Изучить методы расчёта допустимости систематической перегрузки трансформатора при переходном тепловом режиме.

Задача: Произвести расчёт, оценить допустимость систематической перегрузки трансформатора и оценить относительный износ витковой изоляции за сутки.

3.1 Условия задачи и исходные данные

На существующей подстанции трансформатор работает по суточному графику нагрузки, приведённому на рисунке 3.1а.

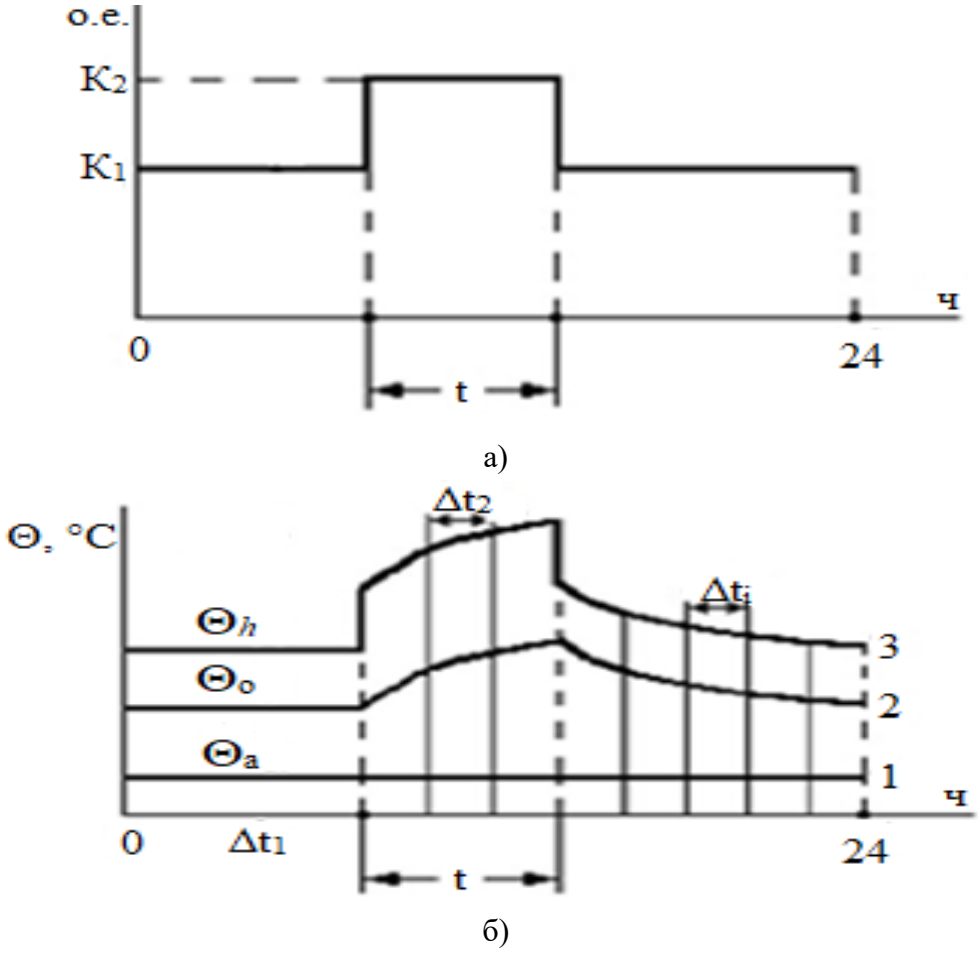

Рисунок 3.1 – Двухступенчатый суточный график нагрузки (а) и переходный тепловой режим в трансформаторе (б)

Для заданного двухступенчатого графика нагрузки трансформатора требуется:

- рассчитать переходный тепловой режим трансформатора;

- оценить допустимость систематической перегрузки трансформатора;

- рассчитать относительный износ изоляции обмоток за сутки.

Варианты заданий принять по таблицам 3.1 и 3.2 в соответствии с последней и предпоследней цифрой шифра соответственно.

Таблица 3.1 – Исходные данные

Показатель	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_1, о.е.	0,9	0,85	0,8	0,75	1,0	1,0	0,75	0,8	0,85	0,9
K_2, о.е.	1,5	1,45	1,4	1,35	1,4	1,3	1,35	1,4	1,45	1,5
t, ч	2	4	3	3	4	6	3	5	2	6

Таблица 3.2 – Исходные данные

Показатель	Вариант (последняя цифра шифра)									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Трансформатор	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН	ТМН	ТДН
Условия	зима	лето	год	зима	лето	год	зима	лето	год	лето
Температура воздуха Θ_a, ^{o}C	-7,6	16,3	8,8	-6,8	17,3	9,1	-8,2	17,5	7,8	16,4

Справочные данные по трансформаторам, необходимые для расчётов приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Справочные данные по трансформаторам

Название показателя	Обозн.	ТМН	ТДН
Показатель степени масла	x	0,8	0,9
Показатель степени обмотки	y	1,6	1,6
Отношение потерь $\Delta P_{кз}/\Delta P_{хх}$	R	5	6
Тепловая постоянная времени масла	τ_o, ч	3	2,5
Превышение температуры масла над температурой воздуха	$\Delta\Theta_{oar}$, ^{o}C	55	52

Продолжение таблицы 3.3

Превышение температуры обмотки над температурой масла	$\Delta\Theta_{hor}$, °C	23	26
Предельная температура масла	Θ_{omax}, °C	105	105
Предельная температура обмотки	Θ_{hmax}, °C	140	140
Температура обмотки, при которой относительный износ изоляции равен единице	°C	98	98

Примечание – Индексы *h*, *o* и *a* соответствуют верхней (*high*) части обмотки, маслу (*oil*) и воздуху (*air*) соответственно. Индекс *r* соответствует номинальному (*rated*) значению параметра.

3.2 Краткие теоретические сведения

На рисунке 3.1б показан переходный тепловой режим в трансформаторе при работе по заданному двухступенчатому графику нагрузки (рисунок 3.1а).

Температура воздуха Θ_a в течение суток принимается неизменной и равной эквивалентной температуре (прямая 1). Изменение температуры масла Θ_o на выходе из обмотки иллюстрируется зависимостью 2; изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки Θ_h – зависимостью 3.

В установившемся тепловом режиме с нагрузкой K превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха определяется по выражению

$$\Delta\Theta_{oa(K)} = \Delta\Theta_{oar}\left[\frac{1+RK}{1+R}\right]^{x}. \qquad (3.1)$$

По этому выражению вычисляются значения $\Delta\Theta_{oa(K1)}$ и $\Delta\Theta_{oa(K2)}$, соответствующие установившемуся тепловому режиму трансформатора, работающего с нагрузкой K_1 или K_2. Изменение превышения температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха в переходном тепловом режиме при изменении нагрузки от значения K_1 до значения K_2 определяется экспоненциальной зависимостью

$$\Delta\Theta_{oa}(t) = \Delta\Theta_{oa(K1)} + \left[\Delta\Theta_{oa(K2)} - \Delta\Theta_{oa(K1)}\right]\cdot\left[1-\exp\left(\frac{-t}{\tau_o}\right)\right]. \qquad (3.2)$$

Для значений t = 1, 2, 3...t по этому выражению строится зависимость $\Delta\Theta_{oa}(t)$ на интервале перегрузки t, определяется превышение температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха к концу интервала перегрузки $\Delta\Theta_{oat}$ и температура масла на выходе из обмотки к концу интервала перегрузки

$$\Theta_{ot} = \Theta_{a} + \Delta\Theta_{oat}. \qquad (3.3)$$

Изменение превышения температуры масла на выходе из обмотки над температурой воздуха в интервале после перегрузки определяется экспоненциальной зависимостью

$$\Delta\Theta_{oa}(t) = \Delta\Theta_{oa(K1)} + \left[\Delta\Theta_{oat} - \Delta\Theta_{oa(K1)}\right] \cdot \left[\exp\left(\frac{-t}{\tau_{o}}\right)\right]. \qquad (3.4)$$

Для значений t = 1, 2, 3,…$3\tau_{o}$ по этому выражению строится зависимость $\Delta\Theta_{oa}(t)$ на интервале после перегрузки. Считается, что через время, равное $3\tau_{o}$, переходный тепловой процесс полностью затухает.

При изменении нагрузки изменение температуры обмотки происходит намного быстрее, чем изменение температуры масла, поскольку тепловая постоянная времени обмоток значительно меньше τ_{o}. С некоторым приближением можно считать, что при скачкообразном изменении нагрузки изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки происходит мгновенно.

В установившемся тепловом режиме с нагрузкой K_1 превышение температуры наиболее нагретой точки обмотки над температурой масла на выходе из обмотки определяется по выражению

$$\Delta\Theta_{ho(K1)} = \Delta\Theta_{hor} \cdot K_{1}^{y}. \qquad (3.5)$$

По аналогичному выражению вычисляется значение $\Delta\Theta_{ho(K2)}$, соответствующее нагрузке K_2.

Дальнейшее изменение температуры наиболее нагретой точки обмотки в интервале перегрузки t определяется изменением температуры масла. Экспоненты увеличения температуры наиболее нагретой точки обмотки Θ_h и масла Θ_o идут параллельно (рисунок 3.1б). Температура наиболее нагретой точки обмотки к концу интервала перегрузки составит

$$\Theta_{ht} = \Theta_{ot} + \Delta\Theta_{ho(K2)}. \quad (3.6)$$

При скачкообразном уменьшении нагрузки до значения K_1 температура наиболее нагретой точки обмотки мгновенно уменьшается на величину $\Delta\Theta_{ho(K1)}$ и в дальнейшем экспоненты уменьшения температуры наиболее нагретой точки обмотки и масла идут параллельно (рисунке 3.1б).

Допустимость систематической перегрузки трансформатора оценивается сопоставлением рассчитанных к концу интервала перегрузки температур наиболее нагретой точки обмотки Θ_{ht} и масла на выходе из обмотки Θ_{ot} с предельными значениями этих температур (таблица 3.3).

Для определения термического износа изоляции следует участки изменения температуры наиболее нагретой точки обмотки Θ_h разбить на интервалы Δt_i, в которых изменение температуры Θ_h можно считать линейным (рисунок 3.1б). На каждом из таких интервалов изменение Θ_h заменяется средним значением Θ_{hi}. Участок с неизменной температурой Θ_h, предшествующий перегрузке, считается одним интервалом Δt_i.

Износ изоляции за сутки определяется в соответствии с 6-градусным правилом старения изоляции по выражению

$$V = \frac{1}{24}\Delta t_i \cdot 2^{\frac{\Theta_{hi}-98}{6}}. \quad (3.7)$$

Размерность износа изоляции – «нормальные» сутки. Одни «нормальные» сутки соответствуют износу изоляции за сутки при работе трансформатора с таким постоянным графиком нагрузки, при котором температура наиболее нагретой точки обмотки Θ_h = 98 °С.

3.3 Порядок решения задачи

1. В соответствии с заданным суточным графиком нагрузки выделяются три интервала работы трансформатора в течение суток:

- интервал, предшествующий перегрузке (нагрузка K_1);
- интервал перегрузки (нагрузка K_2 на интервале t);
- интервал после перегрузки (нагрузка K_1).

На рисунке 3.1б показан типовой переходный тепловой режим в трансформаторе при его работе по заданному графику нагрузки. Температура воздуха Θ_a в течение суток принимается неизменной и равной эквивалентной суточной температуре.

2. Для каждого из трёх указанных выше интервалов расчёту подлежат параметры:

- превышение температуры масла над температурой воздуха $\Delta\Theta_{oa}$;
- температура масла на выходе из обмотки Θ_o;
- превышение температуры обмотки над температурой масла $\Delta\Theta_{ho}$;
- температура наиболее нагретой точки в верхней части обмотки $\Theta_{h.}$

При вычислениях учитывать, что в интервале перегрузки t превышение температуры масла над температурой воздуха будет увеличиваться по экспоненте, далее в интервале после перегрузки уменьшаться по экспоненте.

3. Допустимость систематической перегрузки трансформатора оценивается сопоставлением рассчитанных к концу интервала перегрузки температуры обмотки Θ_{ht} и температуры масла Θ_{ot} с предельными значениями этих температур $\Theta_{h\max}$ и $\Theta_{o\max}$, указанных в таблице 3.3.

4. Термический износ изоляции V оценивается приближённо. Для этого зависимость изменения температуры обмотки $\Theta_h(t)$ следует разбить на интервалы Δt_i, внутри которых изменение температуры обмотки можно считать линейным На каждом i-ом интервале температура обмотки заменяется средним значением Θ_{hi}.

Участок с неизменной температурой обмотки $\Theta_{h\text{K}1}$, предшествующий перегрузке, считать первым интервалом Δt_1. Длительность интервала Δt_1 принять равной 8 ч.

Заключение

Выполнение практических заданий ставит целью практическое закрепление изучаемого теоретического материала по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения», приобретение инженерных навыков расчёта эксплуатационных характеристи электрооборудования с учётом внешних воздействий, развитие творческих способностей студента при решении конкретно поставленной задачи.

В данном Практикуме по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения» были рассмотрены методы расчёта эксплуатационных характеристик основных элементов систем электроснабжения; воздушных и кабельных линий электропередачи и силовых трансформаторов с учётом влияния внешних воздействий.

В процессе выполнения практических заданий студенты изучают теоретические материалы, методики расчёта и решают три задачи.

1. Расчёт допустимости перегрузки кабелей в нормальном режиме и при аварийном отключении одного из кабелей.

2. Расчёт мощности и напряжения, требуемых для плавки гололёда переменным или выпрямленным током.

3. Расчёт допустимости систематической перегрузки трансформатора и оценка износа витковой изоляции.

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – СПб.: АНО ОУ УМИТЦ, 2021. – 165 с.

2. Акимова, Н.А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: учеб. пособие / Н.А. Акимова, Н.Ф. Котеленец, Н.И. Сентюрихин; под общ. ред. Н.Ф. Котеленца. – М.: Мастерство, 2002. – 296 с.

3. Мастерова, О.А. Эксплуатация электроэнергетических систем и сетей: учебное пособие / О.А. Мастерова, А.В. Барская. – Томск: ТПУ, 2006. – 100 с.

4. Быстрицкий, Г.Ф. Выбор и эксплуатация силовых трансформаторов: учебное пособие для средн проф. образования / Г.Ф. Быстрицкий, Б.И. Кудрин. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 176 с.

5. Приказ Министерства энергетики РФ от 4.10.2022 г. № 1070 «Об утверждении Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации и о внесении изменений в приказы Минэнерго России от 13 сентября 2018 г. № 757, от 12.07.2018 г. № 548».

6. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91) Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. Межгосударственный стандарт. Дата введения 01.01.2002. – 82 с.

7. Электроэнергетические системы. Определение предварительных технических решений по выдаче мощности электростанций. СТО ОАО РАО «ЕЭС России». – 2007.

8. Эксплуатация электрооборудования: методические указания / Ж.А. Зарандия, А.А. Иванов. – Тамбов: Изд-во Тамб.гос. техн. ун-та. – 2007.

9. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки. Дата введения 01.07.1985. – 37 с.

10. Правила устройства электроустановок утв. М-вом энергетики Рос. Федерации 08.07.2002. – 6-е и 7-е изд. (все действующие разделы). – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2009. – 499 с.

11. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для студентов высших учебных заведений / Б.И. Кудрин. – М. : Интермет Инжиниринг, 2005. – 329 с.

12. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М.: Энергия, 2002. – 288 с.

13. Баркан, Я.О. Эксплуатация энергосистем: учебное пособие для электроэнергетических спец. вузов. – М.: Высшая школа, 1990. – 304 с.

14. Короткевич, М.А. Основы эксплуатации электрических сетей. – Минск: Вышэйшая школа, 1999. – 268 с.

15. Маркович, И.М. Режимы энергетических систем. – 4-е издание, переработанное и дополненное. – М.: Энергия, 1969. – 352 с.

16 Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 15.12.2020 г. № 903н «Об утверждении Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок».

17. Правила предотвращения развития и ликвидации нарушений нормального режима электрической части энергосистем. Стандарт организации. – ОАО РАО «ЕЭС России», 2005. – 51 с.

Учебное издание

Мельников Александр Юрьевич
Лопатин Евгений Игоревич

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Практикум

Подписано в печать _____. Тираж 5 экз.
Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета
390000, г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, 26/53