

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

Одобрено кафедрой
«Электрификация и
электрообеспечение»

ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

Задание на контрольную работу № 2
с методическими указаниями
для студентов IV курса

специальности

«СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ»

Москва – 2014

Введение

Цель диагностики устройств электроснабжения – определение их технического состояния.

Техническая диагностика [1] является составной частью технического обслуживания устройств электроснабжения, которое объединяет комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, обеспечивающих поддержание оборудования систем электроснабжения в работоспособном состоянии при рациональных затратах материальных и трудовых ресурсов с учетом имеющихся ограничений.

В процессе диагностики технического объекта решается комплекс задач [2]: построение модели диагностирования, разработка методов и оптимизации алгоритмов диагностирования, разработка технических средств диагностирования, сбор и обработка информации о состоянии объекта, разработка прогноза развития состояния объекта.

Задачи технической диагностики решаются с учетом всех этапов жизненного цикла технического объекта – проектирования, монтажа (изготовления) и эксплуатации.

На этапе эксплуатации обычно решаются частные задачи: проверка исправности, проверка работоспособности, проверка правильности функционирования, поиск неисправности.

Целью контрольной работы является развитие навыков в исследовании моделей эксплуатации, старения и диагностирования основного оборудования систем электроснабжения электрических железных дорог для принятия решений по повышению надежности его работы.

Каждая задача контрольной работы снабжена кратким теоретическим материалом и пояснениями к ее решению.

Целесообразно перед началом выполнения контрольной работы ознакомиться с общими вопросами стратегии технического обслуживания и методами диагностики по учебнику [3].

ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

Задача 1. Определение срока капитального ремонта выключателя ВВФ-27,5 фидера контактной сети 27,5 кВ для замены вакуумных камер после отработки ресурса.

В задаче требуется:

1. Рассчитать относительную степень износа вакуумных камер для всего диапазона возможных токов короткого замыкания (к.з.).
2. Рассчитать относительную степень износа камер за год.
3. Определить срок службы вакуумных камер.

Исходные данные:

мощность, параметры и число трансформаторов тяговой подстанции – табл. 1;

годовое число коротких замыканий, отключаемых выключателем – табл. 2.

Таблица 1

Параметры и число трансформаторов

Параметры	Последняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$S_{\text{НОМ}}$, МВ·А	20	40	63	40	20	40	63	40	20	40
n	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
$U_{\text{к}}$, %	9	10	11	12	11	10	9	10	11	12

Таблица 2

Число коротких замыканий

$I/I_{\text{М}}$	Предпоследняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,2 – 0,4	10	20	20	30	20	40	20	30	50	20
0,4 – 0,6	20	30	40	20	30	20	10	10	20	30
0,6 – 0,8	30	20	30	10	20	30	20	10	30	20
0,8 – 1,0	10	5	5	10	10	5	5	10	5	10

Задача 2. Определение коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности по данным измерений трех фаз напряжений на шинах 35 кВ опорной тяговой подстанции переменного тока, питающей сети 35 кВ, находящиеся в ведении энергосистемы (рис. 1).

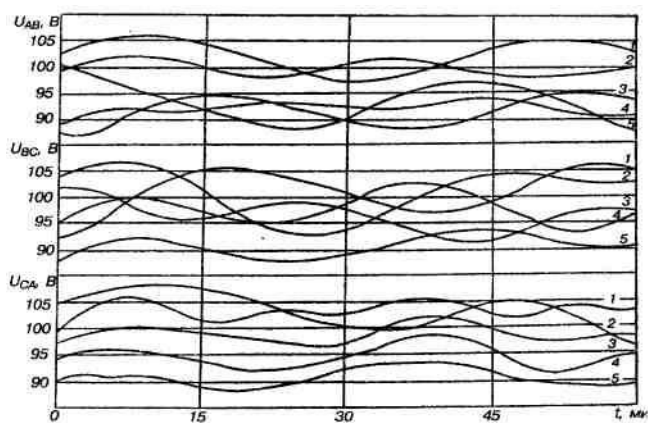


Рис.1

В задаче требуется:

1. Построить статистический ряд коэффициентов несимметрии напряжения K_{2U} по обратной последовательности по данным измерений.
2. Построить гистограмму и статистическую функцию распределения K_{2U} .
3. Сравнить полученный коэффициент K_{2U} с допустимым значением и в случае превышения предложить мероприятия по его снижению.

Исходные данные приведены в табл. 3 и на рис. 1

Таблица 3

Номера кривых напряжений на рис. 1

Линейные напряжения	Предпоследняя цифра учебного шифра									
	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
U_{AB}	1	2	3	5	1	2	4	5	1	2
U_{BC}	2	5	4	2	3	1	5	4	5	3
U_{CA}	3	1	2	1	2	3	3	2	4	5

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Все расчеты следует сопровождать краткими пояснениями. При использовании готовых формул и соотношений необходимо указать источник, из которого эти данные заимствованы. Вначале записывают формулу в общем виде (с буквенными обозначениями), затем подставляют числовое значение каждой величины в том же порядке и в той же форме записи, как и в общей формуле, и только после этого приводят готовый результат вычислений.

В связи с выполнением большого объема однотипных расчетов целесообразно использовать ПЭВМ, при этом следует производить округления результатов для получения точности порядка 1 %.

В связи с ограниченным объемом контрольной работы здесь допущен ряд упрощений, в основном по исходным данным.

Детальное рассмотрение указанных вопросов при более полных исходных данных с применением теории вероятностей предусмотрено при дипломном проектировании.

Пояснения к задаче 1

Преимущества вакуумных выключателей перед другими выключателями предопределили интенсивное внедрение их на фидерах тяговых подстанций переменного тока.

Достоинства вакуумных выключателей: быстроедействие (как на включение, так и на отключение), длительный срок службы без ремонта при частых отключениях, сравнительно небольшие габаритные размеры и масса, пожароопасность, способность отключения емкостных токов и т.д.

Основой вакуумного выключателя является дугогасительная камера. Современная технология позволяет изготавливать вакуумные камеры, рассчитанные на напряжения 10 и 35 кВ и токи от 200 до 4 000 А. Обычно для надежной работы в выключателях 27,5; 35 кВ и выше применяют в каждой фазе несколько камер, соединенных последовательно.

В рассматриваемой задаче предлагается исследовать работу однофазного вакуумного выключателя фидера контактной сети ВВФ-27,5 (выключатель вакуумный, фидерный на 27,5 кВ), для которого использованы три камеры типа КДВ-10-1600-204ХЛ2.

Характеристика камеры

Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный ток, А	1600
Стойкость при сквозных токах к.з., кА	20
4-секундный ток термической стойкости, кА	20
Амплитуда сквозного предельного тока, кА	70
Предельный ток включения, кА	51

Рабочая температура, °Сот –60 до +45

Коммутационная износостойкость
(циклов включение – отключение) при токе:

630 А20 000

1600 А10 000

10 кА50

16 кА30

20 кА25

Механическая износостойкость

(циклов включение – отключение)20 000

Допустимый износ контактов, мм4

Выключатель ВВФ-27,5 В с указанными камерами рассчитан на номинальное напряжение 27,5 кВ, максимальное напряжение 29 кВ. Его номинальный ток, номинальный ток отключения и 4-секундный ток термической стойкости соответствует данным камеры.

Время включения выключателя составляет не более 0,1 с, а отключения – не более 0,05 с. Выключатель рассчитан на цикл работы: отключение, пауза 0,5 с, включение на к.з. с последующим отключением, пауза 5 с, включение на к.з. и отключение.

Ресурс вакуумных камер выключателей ВВФ-27,5 кВ фидеров тяговой сети 27,5 кВ зависит от износа контактов [3].

Число допустимых циклов отключения выключателя в зависимости от значения тока к.з. I , кА, равно*:

$$N = \frac{A}{I - BI^{2\alpha}}, \quad (1)$$

где A , B , α — константы, определяемые типом вакуумной камеры.

Для камеры КДВ-10-20/1600 принимают: $A = 156,8$; $B = 1,0878$; $\alpha = 0,4$.

Относительная степень износа камер при одном отключении тока к.з. I :

$$F = \frac{1}{N} = \frac{I - BI^{2\alpha}}{A}, \quad (2)$$

Пусть за год произошло N_1 отключений токов к.з. I_1 , N_2 - токов I_2 , N_3 - токов I_3 и т.д. Тогда суммарная относительная степень износа камер за год:

$$F_{\Sigma} = N_1 F_1 + N_2 F_2 + N_3 F_3 \dots \quad (3)$$

Если $F_{\Sigma} \geq 1$, то камеры полностью отработали ресурс.

Если $F_{\Sigma} < 1$, то, принимая, что в последующие годы количество и распределение токов к.з. остается неизменным, можно определить срок капитального ремонта T_c , лет выключателя для замены вакуумных камер с полностью отработанным ресурсом:

$$T_c = \frac{1}{F_{\Sigma}}. \quad (4)$$

Максимальный ток короткого замыкания

$$I_{\text{м}} = \frac{U_{\text{max}}}{2\sqrt{X_T + X_S}}, \quad (5)$$

где U_{max} — максимальное напряжение на шинах подстанции ($U_{\text{max}} = 29$ кВ);
 X_T — сопротивление фазы трансформатора:

$$X_T = \frac{u_k U_{\text{ном}}^2}{100 S_{\text{ном}} \cdot n}, \quad (6)$$

* Несомненно, на износ влияют и другие факторы, например, частота следования к.з. в цикле АПВ. Для упрощения задачи эти факторы не учитывают.

u_k — напряжение к.з. трансформатора, %;

$U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение на тяговых шинах ($U_{\text{ном}} = 27,5$ кВ);

$S_{\text{ном}}$ — номинальная мощность трансформатора, МВ·А;

n — число работающих трансформаторов;

X_S — сопротивление фазы сетей внешнего электроснабжения, Ом:

$$X_S = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{кз}}};$$

$S_{\text{кз}}$ - мощность к.з. на вводах подстанции, МВ·А (принять $S_{\text{кз}} = 500$ МВ·А).

Для получения гарантированных данных по износу камер при расчетах износа следует принимать наибольшие значения токов к.з. в каждом интервале табл. 2 (т.е. расчет износа проводить для $I_1 = 0,4I_{\text{м}}$, $I_2 = 0,6I_{\text{м}}$, $I_3 = 0,8I_{\text{м}}$, $I_4 = I_{\text{м}}$).

Пояснения к задаче 2

Тяговая подстанция переменного тока является источником несимметрии напряжения. Для определения уровня несимметрии и сравнения его с допустимым значением, а также для разработки мероприятий по снижению несимметрии энергоснабжающая организация в соответствии с [4] производит измерения коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности:

$$K_{2U} = \frac{U_2}{U_{\text{ном.мф}}}, \quad (7)$$

где U_2 — напряжение обратной последовательности основной частоты;

$U_{\text{ном.мф}}$ — номинальное напряжение ($U_{\text{н}} = 100$ В).

Метод расчета U_2 приведен в [4].

Для практических расчетов, когда K_{2U} не превышает 10-15%, применима следующая приближенная формула:

$$U_2 = 0,62\delta U_{\text{max}} \quad (8)$$

где δU_{\max} — максимальная разница из трех измеряемых напряжений.

Если, например, $U_{AB} = 101$ В, $U_{BC} = 104$ В, $U_{CA} = 99$ В, то

$$\delta U_{\max} = 104 - 99 = 5 \text{ В.}$$

Результаты расчета следует представить статистическим рядом (так называемой выборкой измерений). В соответствии с [4] период измерения должен быть 24 часа, а каждое наблюдение за коэффициентом несимметрии - на интервале 3 с. С целью снижения объема расчетов в учебных целях рекомендуется измерения производить через 1 мин.

Гистограмма $f^*(K_{2U})$ является эмпирическим аналогом функции плотности распределения вероятностей коэффициента K_{2U} .

Значение функции $f^*(K_{2U})$ приближенно равно отношению вероятности попадания случайной величины K_{2U} в m -й интервал K_{2Um} , $K_{2Um} + \Delta K_{2Um}$ к длине этого интервала ΔK_{2U} :

$$f^*(K_{2U}) \approx \frac{N_m / N}{\Delta K_{2U}},$$

где N_m — число попаданий K_{2U} в интервал m ;

N — общее число наблюдений.

Предлагается такая последовательность построения гистограммы коэффициента K_{2U} по данным статистического ряда K_{2U} , полученного в результате эксперимента.

1. Находят предварительное количество k квантов (интервалов), на которое должна быть разбита ось $O K_{2U}$, с помощью оценочной формулы

$$k = 1 + 3,2 \lg N, \quad (9)$$

где N — количество членов ряда.

Найденное значение k округляют до ближайшего целого числа.

2. Определяют длину интервала:

$$\Delta K_{2U} = (K_{2U \max} - K_{2U \min}) / k. \quad (10)$$

Величину ΔK_{2U} можно несколько округлить для удобства вычислений.

3. Середину области изменений выборки (центр распределения) $(K_{2U \max} + K_{2U \min}) / 2$ принимают за центр некоторого интервала, после чего легко находят границы и окончательное количество указанных интервалов так, чтобы в совокупности они перекрывали всю область от $K_{2U \min}$ до $K_{2U \max}$.

4. Подсчитывают количество наблюдений N_m , попавшее в каждый квант: N_m равно числу членов вариационного ряда, для которых справедливо неравенство

$$K_{2Um} < K_{2U} < K_{2Um} + \Delta K_{2U}. \quad (11)$$

Здесь K_{2Um} и $K_{2Um} + \Delta K_{2U}$ — границы m -го интервала.

Отметим, что при использовании формулы (11) значения, попавшие на границу между $(m - 1)$ -м и m -м интервалами, относят к m -му интервалу.

5. Подсчитывают относительное количество (относительную частоту) наблюдений N_m/N , попавших в данный квант.

6. Строят гистограмму, представляющую собой ступенчатую функцию, значение которой на m -м интервале ($K_{2U_m}, K_{2U_m} + K_{2U_m}$) постоянно и равно N_m/N ($m = 1, 2, \dots, k$).

Пусть, например, имеется выборка (статистический ряд) из 40 наблюдений $K_{2U(1)} = K_{2U_{\min}} = 0,2$; $K_{2U(2)} = 0,4$; ...; $K_{2U(40)} = K_{2U_{\max}} = 7,2$. По формуле (29) получаем $k = 1 + 3,2 \lg 40 = 1 + 3,2 \cdot 1,602 = 6,13$; принимаем $k = 7$. Тогда $K_{2U} = (7,2 - 0,2)/7 = 1$; $\Delta K_{2U} = 1$. Находим

$(K_{2U_{\min}} + K_{2U_{\max}})/2 = (0,2 + 7,2)/2 = 3,7$, после чего легко определяем границы интервалов (см. рис. 2).

Допустим, после такой разбивки выяснилось, что в первый интервал попало два значения $K_{2U(i)}$: $N_1 = 2$; во второй - четыре: $N_2 = 4$; в следующие: $N_3 = 9$; $N_4 = 13$; $N_5 = 8$; $N_6 = 3$; $N_7 = 1$. Соответствующая гистограмма дана на рис. 2.

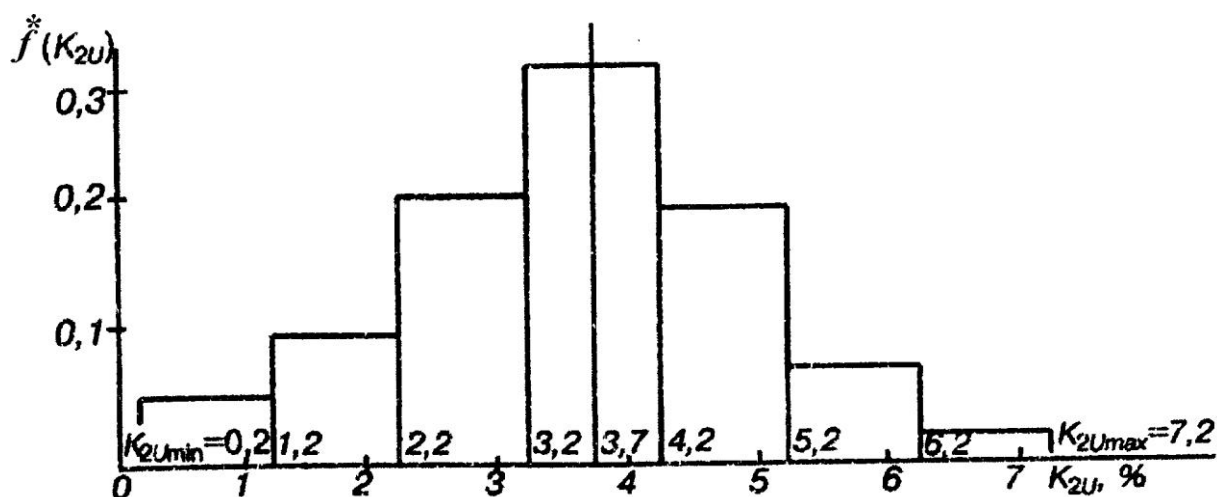


Рис. 2

По гистограмме (рис. 2) можно приближенно построить [2] статистическую функцию распределения величины $K_{2U} - F(K_{2U})$ по точкам 0,2; 1,2; 2,2;; 7,2.

Тогда $F(0,2) = 0 \%$;

$F(1,2) = 0 + (2/40)100 = 5\%$;

$F(2,2) = 5 + (4/40)100 = 15\%$;

$F(3,2) = 15 + (9/40)100 = 37,5\%$;

.....

$F(7,2) = 100 \%$.

Функция распределения $F(K_{2U})$ в процентах представлена на рис. 3.

Проведя горизонталь на уровне 95 %, получим максимальное значение $K_{2U} = 5,8$ %, соответствующее вероятности 95% за время измерения, а предельное значение $K_{2U} = 7,2$ %.

Таким образом, полученное значение K_{2U} превышает соответственно нормально допустимые (2%) и предельно допустимые (4%) значения K_{2U} [4].

Поэтому следует выбрать способ снижения несимметрии на тяговой подстанции [5; 6], используя гистограмму K_{2U} (см. рис. 2).

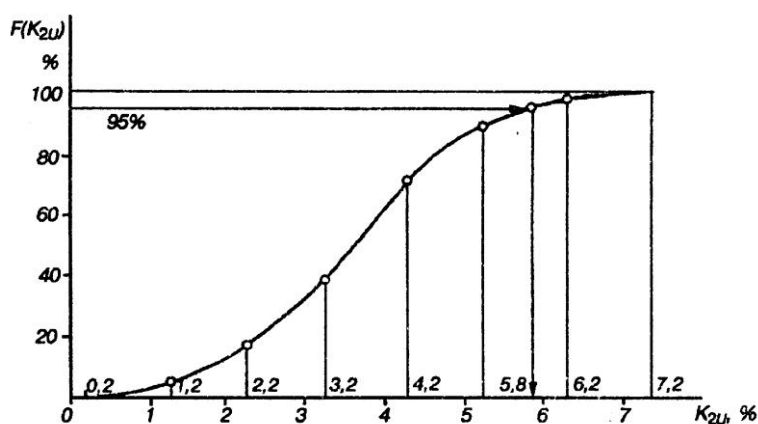


Рис. 3

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.
2. ГОСТ 13109-97 Нормы качества электрической энергии в системе электроснабжения общего назначения.
3. Е ф и м о в А.В., Г а л к и н А.Т. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог: Учеб. для вузов. – М.: УМК МПС России, 2000.
4. Б е й Б.М. Тяговые подстанции. – М.: Транспорт, 1986.
5. М а р к в а р д т К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. – М.: Транспорт, 1982.
6. Г е р м а н Л.А. Компенсация реактивной мощности в системе тягового электроснабжения: Уч. пос. – М.: РГОТУПС, 1996.
7. Правила устройств и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог (ЦЭ-868). – М.: Трансиздат, 2002.