

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
“ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I”

Кафедра «Электротехника и теплоэнергетика»

И. М. Карпова

Б1.В.ДВ.2.1 «ТЕХНИКА ВЫСОКИХ НАПРЯЖЕНИЙ»

**Методические указания к выполнению контрольной работы
студентами заочной формы обучения**

для специальности

23.05.05 «Системы обеспечения движения поездов»

по специализации

«Электроснабжение железных дорог»

Санкт-Петербург – 2026

Техника высоких напряжений (ТВН) является важной дисциплиной при подготовке специалистов в области электроснабжения. Научный фундамент курса ТВН – теоретические и экспериментальные данные по электрофизическим процессам в газообразных, жидких и твердых изоляционных средах. На этом базируется возможность создания надежной изоляции электрических систем. Кроме этого, надежность изоляции обеспечивается грамотной ее эксплуатацией, ограничением всех видов воздействий (перенапряжений) на нее и своевременно проведенными испытаниями.

Основой для освоения курса ТВН является знание основ физики, математики, теории вероятности и теоретических основ электротехники.

Контрольная работа содержит 5 основных задач с методическими указаниями по их решению. Преподаватель имеет право корректировать объем задания на контрольную работу.

Контрольная работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки в соответствии с общими требованиями к текстовым документам. В контрольной работе следует приводить условия задач, расчетные формулы, графики, схемы, размерности полученных величин и выводы по работе.

При выполнении контрольных заданий следует учесть, что пояснительный текст должен быть кратким, расчеты следует выполнять с написанием всех используемых формул с последующей подстановкой в них числовых значений. Обязательно указываются размерности величин. Схемы, графики, приводимые в контрольных заданиях, должны выполняться аккуратно с использованием стандартных обозначений. После заключительных выводов по работе приводится список использованной литературы с указанием автора, названия книги или журнала, издательства и года издания.

Работы, выполненные с нарушением указанных требований, возвращаются студенту для внесения исправлений.

Контрольная работа выполняется по исходным данным, приведенным в таблицах. Вариант задания выбирается по последней и/или предпоследней цифре шифра или указывается преподавателем в соответствии со списком группы.

Задача 1.

Определить потери мощности на корону в ясную и ненастную погоду (с коэффициентом погоды m_2) для воздушной трехфазной линии передачи класса напряжения U , протяженностью L при заданных атмосферных условиях (давление p и температура T). Используются сталеалюминевые провода с внешним радиусом r и коэффициентом гладкости m_1 , расстояние между проводами d . Частота 50 Гц.

Определить также напряжение появления короны на проводах воздушной линии передачи в случаях:

- удвоения радиуса провода,
- удвоения расстояния между проводами.

Сделать выводы.

Данные задачи по вариантам приведены в табл.1.1.

Таблица 1.1

Варианты численных данных для решения задачи

№	U , кВ	L , км	p , мм.рт.ст	T , °C	r , мм	d , м	m_1	m_2
1	110	100	730	0	6	4	0,85	0,8
2	150	120	735	2	7	6	0,88	0,75
3	220	140	740	4	9,8	7	0,89	0,7
4	330	160	745	6	10,4	8	0,9	0,65
5	500	180	750	8	15	10	0,91	0,6
6	750	200	755	10	20	15	0,92	0,8
7	110	220	760	12	6,2	4,5	0,85	0,75
8	150	240	765	14	7,2	6,5	0,88	0,7
9	220	260	770	16	9	7,5	0,89	0,65
10	330	280	730	18	10,6	8,5	0,9	0,6
11	220	240	740	0	9,4	8,2	0,89	0,65
12	330	260	745	-10	11	9,2	0,9	0,7
13	500	280	750	-12	15,6	11,2	0,91	0,75
14	750	300	730	-14	23	16,2	0,92	0,8
15	110	320	760	-16	6,8	6,4	0,85	0,6
16	150	340	765	-2	7,8	8,4	0,88	0,65
17	220	320	770	-4	9,6	9,4	0,89	0,6
18	330	300	750	-6	11,2	10,4	0,9	0,7
19	500	280	760	-5	15,8	12,4	0,91	0,7
20	750	260	765	-8	24	18,4	0,92	0,8
21	500	300	735	20	15,2	10,5	0,91	0,7
22	750	320	740	22	21	15,5	0,92	0,8
23	110	340	745	24	6,4	5	0,85	0,7
24	150	100	750	26	7,4	7	0,88	0,8
25	220	120	755	28	9,2	8	0,89	0,7
26	330	140	760	30	10,8	9	0,9	0,8
27	500	160	765	-2	15,4	11	0,91	0,6
28	750	180	770	-4	22	16	0,92	0,65
29	110	200	730	-6	6,6	5,5	0,85	0,6
30	150	220	735	-8	7,6	7,5	0,88	0,7

31	220	240	740	-10	9,4	8,5	0,89	0,8
32	330	260	745	-12	11	9,5	0,9	0,75
33	500	280	750	-14	15,6	11,5	0,91	0,7
34	750	300	730	-16	23	16,5	0,92	0,65
35	110	320	760	-18	6,8	6	0,85	0,6
36	150	340	765	-20	7,8	8	0,88	0,6
37	220	320	770	-22	9,6	9	0,89	0,6
38	330	300	750	-24	11,2	10	0,9	0,6
39	500	280	760	-26	15,8	12	0,91	0,6
40	750	260	765	-28	24	18	0,92	0,6

Методические указания к решению задачи.

Явление короны связано с потерей электрической энергии, которая в основном расходуется на движении заряженных частиц и частично на излучение. Однако при коронировании электродов с малой поверхностью эти потери настолько малы, что учет теряемой энергии не имеет смысла. Лишь при электродах большой протяженности, как, например, в воздушных линиях электропередачи, учет этих потерь имеет экономический интерес.

Для возникновения короны нужна определенная степень неоднородности поля, конфигурация которого в линиях передачи в основном определяется соотношениями расстояний между проводами и их радиусами.

При напряжениях до 110 кВ применяются провода таких диаметров, чтобы ограничить потери на корону весьма малыми величинами или вовсе избежать потерь на корону. Поэтому практический интерес имеют потери на корону в линиях очень высокого напряжения (110 кВ и выше), а также в линиях, проходящих по высокогорным районам, где пониженное давление воздуха облегчает его ионизацию.

Строгий аналитический вывод формулы потерь на корону в настоящее время невозможен. Поэтому основной путь определения потерь на корону при переменном напряжении заключается в обобщении опытных данных, которых к настоящему времени накопилось довольно много.

Американский инженер Пик предложил широко известную формулу мощности потерь на корону

$$P_K = \frac{24,1}{\delta} (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{d}} \cdot (U_{\phi} - U_0)^2 \cdot 10^{-5}, \frac{\kappa B m}{\text{км} \cdot \text{фаза}},$$

где δ – относительная плотность воздуха; r – радиус провода, см; d – расстояние между проводами, см; U_{ϕ} – фазное напряжение на участке коронирования, кВ; U_0 – минимальное напряжение, при котором на линии возникает корона.

Относительная плотность воздуха учитывает отклонение атмосферных условий от нормальных:

$$\delta = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T},$$

где $p_0 = 760$ мм рт. ст. и $T_0 = 293$ К – нормальные атмосферные условия; p и T – давление и температура воздуха в расчете.

Эту формулу можно преобразовать к виду

$$\delta = \frac{0,386 \cdot p}{273 + T},$$

где p – заданное давление в мм рт. ст., T – заданная температура в °С.

Начальное напряжение возникновения короны определяется по формуле:

$$U_0 = 21,2 \cdot \delta \cdot r \cdot \ln \frac{d}{r} \cdot m_1 \cdot m_2$$

m_1 - коэффициент гладкости провода;

m_2 - коэффициент погоды.

При расчете не забывайте, что формула Пика учитывает потери только в одной фазе на 1 км длины линии.

Задача 2.

Подобрать тип подвесного тарельчатого изолятора в гирлянде для крепления и изоляции токоведущих частей электроустановки по заданному номинальному напряжению и степени загрязненности атмосферы. Требуется:

1) выбрать тип изолятора и обосновать его выбор (выбирать из изоляторов ПС-40, ПС-120, ПС-160, ПС-210, ПС-240, ПС-300 и ПС-400 и их различных модификаций);

2) начертить эскиз конструкции выбранного типа изолятора и привести числовые значения его основных характеристик;

3) определить необходимое количество изоляторов в гирлянде;

4) рассчитать и построить график распределения падения напряжения вдоль гирлянды изоляторов и график напряжений, приходящихся на каждый изолятор гирлянды. При необходимости указать возможные пути выравнивания напряжения.

Числовые значения параметров по вариантам приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Данные для расчета гирлянды изоляторов

Вариант	U_n , кВ	Степень загрязненности атмосферы	Паразитные емкости		Собственная емкость C_n , пФ
			C_p , пФ	C_z , пФ	
1	110	4	0,50	2,5	51
2	150	4	0,52	3,0	52
3	220	4	0,54	3,5	53
4	330	4	0,56	4,0	54
5	500	4	0,58	4,5	55
6	750	4	0,60	5,0	56
7	330	1	0,62	2,5	57
8	500	1	0,64	3,0	58
9	750	1	0,66	3,5	59
10	110	1	0,68	4,0	60
11	150	1	0,70	4,5	61
12	220	1	0,72	5,0	62
13	110	2	0,74	2,5	63
14	150	2	0,76	3,0	64
15	220	2	0,78	3,5	65
16	330	2	0,80	4,0	66
17	500	2	0,82	4,5	67
18	750	2	0,84	5,0	68
19	500	3	0,86	3,0	69
20	330	3	0,88	4,0	70
21	110	4	0,50	3,0	70
22	150	4	0,52	3,5	69
23	220	4	0,54	4,0	68

24	330	4	0,56	4,5	67
25	500	4	0,58	5,0	66
26	750	4	0,60	2,5	65
27	35	4	0,62	3,0	64
28	500	1	0,64	3,5	63
29	330	1	0,66	4,0	62
30	110	1	0,68	4,5	61
31	150	1	0,70	5,0	60
32	220	1	0,72	3,0	59
33	110	2	0,74	4,0	58
34	150	2	0,76	2,5	57
35	220	2	0,78	3,0	56
36	330	2	0,80	3,5	55
37	500	2	0,82	4,0	54
38	35	3	0,84	4,5	53
39	500	3	0,86	5,0	52
40	330	3	0,88	4,0	51

Методические указания к решению задачи.

Электрическая прочность изоляторов зависит от состояния их поверхности и от вида воздействующего напряжения.

На поверхностях изоляторов, установленных на открытом воздухе, могут оседать различные загрязнения, неизбежно присутствующие в атмосфере и разносимые ветром. Загрязнения в сухом состоянии, как правило, имеют весьма высокое сопротивление и не оказывают существенного влияния на разрядные характеристики изоляторов. Увлажнение слоя загрязнения при дожде, росе или других мокрых осадках приводит к резкому уменьшению его сопротивления вследствие образования слабого электролита из водорастворимых составляющих загрязняющего вещества. При этом механизм развития разряда вдоль поверхности качественно меняется, величины разрядных напряжений значительно снижаются.

Аналогичная картина наблюдается и при смачивании чистой поверхности изолятора дождем, когда стекающая по изолятору дождевая вода, имеющая относительно невысокое удельное объемное сопротивление (около 10^3 Ом·м), образует слой с достаточно большой проводимостью.

Напряжение перекрытия изоляторов, загрязненных в реальных условиях эксплуатации, пропорционально эффективной длине пути утечки:

$$L_{\text{эф}} = L_{y1} / K ,$$

где $K \geq 1.0$ – поправочный коэффициент, иногда называемый коэффициентом формы изолятора; L_{y1} – геометрическая длина утечки одного изолятора.

Для гирлянд и колонок, состоящих из N изоляторов,

$$L_{\text{эф}} = N L_{y1} / K .$$

Коэффициент K зависит не только от формы изолятора, но и от условий его загрязнения, т. е. от скорости ветра и интенсивности мокрых осадков, от свойств загрязняющих веществ. Поэтому значения K определяют экспериментальным путем. При отсутствии опытных данных K можно приближенно оценить по эмпирическим формулам. Для изоляторов тарельчатого типа

$$K = 1 + 0.5 \left(\frac{L_{y1}}{D} - 1 \right),$$

где D – диаметр тарелки изолятора.

В качестве характеристики надежности изоляторов при рабочем напряжении принята удельная эффективная длина пути утечки

$$\lambda_{эф} = \frac{L_{эф}}{U_{наиб\ раб}},$$

где $U_{наиб\ раб}$ – наибольшее рабочее междуфазное напряжение.

Удельная эффективная длина пути утечки нормируется в зависимости от степени загрязненности атмосферы и номинального напряжения установки (табл.2.2).

В соответствии с главой 1.9 ПУЭ-7 устанавливаются 4 степени загрязнения (СЗ): 1 - легкая; 2 - средняя; 3 - сильная; 4 - очень сильная.

Для надежной эксплуатации при рабочем напряжении геометрическая длина пути утечки изоляторов должна определяться как

$$L_y \geq K \cdot \lambda_{эф} \cdot U_{наиб\ раб}.$$

Таблица 2.2

Нормированная удельная эффективная длина пути утечки

Степень загрязнения	$\lambda_{эф}$ (см/кВ) при номинальном напряжении	
	до 35 кВ	110-750 кВ
1	3,3	2,8
2	4,1	3,5
3	5,3	4,4
4	7,2	5,5

Применительно к гирляндам изоляторов это условие означает, что число изоляторов в гирлянде должно быть

$$N \geq \frac{K \cdot \lambda_{эф} \cdot U_{наиб\ раб}}{L_{y1}}.$$

В связи с возможностью механических повреждений при эксплуатации количество изоляторов в гирлянде должно быть увеличено для линий 110–220 кВ на один, для линий 330–500 кВ на два и для линий 750 кВ – на 5%

Наибольшее рабочее междуфазное напряжение также нормируются и подчиняются соотношению:

$$U_{наиб\ раб} = k \cdot U_n.$$

Коэффициент k при повышении класса напряжения постепенно снижается, что определяется экономическими соображениями:

$$3 - 20 \text{ кВ} \quad k = 1,2$$

$$35 - 220 \text{ кВ} \quad k = 1,15$$

$$330 \text{ кВ} \quad k = 1,1$$

$$500 - 1150 \text{ кВ} \quad k = 1,05$$

Напряжение, приложенное к гирлянде изоляторов, распределяется неравномерно, и на разные изоляторы приходятся разные доли напряжений, что снижает напряжение начала короны и напряжение перекрытия гирлянды. В наиболее неблагоприятной ситуации оказывается изолятор, ближайший к проводу.

Основной причиной неодинаковых напряжений на изоляторах можно считать наличие паразитных емкостей металлических частей изоляторов по отношению к земле (рис. 2.1, а). В гирлянде можно различить три вида емкостей: собственные емкости изоляторов $C_{и}$, емкости металлических частей по отношению к земле C_3 и емкости по отношению к проводу $C_{п}$. Порядок величин емкостей примерно таков: $C_{и} \approx 50 - 70 \text{ пФ}$, $C_3 \approx 2 - 5 \text{ пФ}$, $C_{п} \approx 0.5 - 1 \text{ пФ}$. Полагая, что собственные емкости изоляторов, а также паразитные емкости $C_{п}$ и C_3 для всех изоляторов одинаковы, можно предложить схему замещения гирлянды сухих изоляторов, приведенную на рис. 2.1, б.

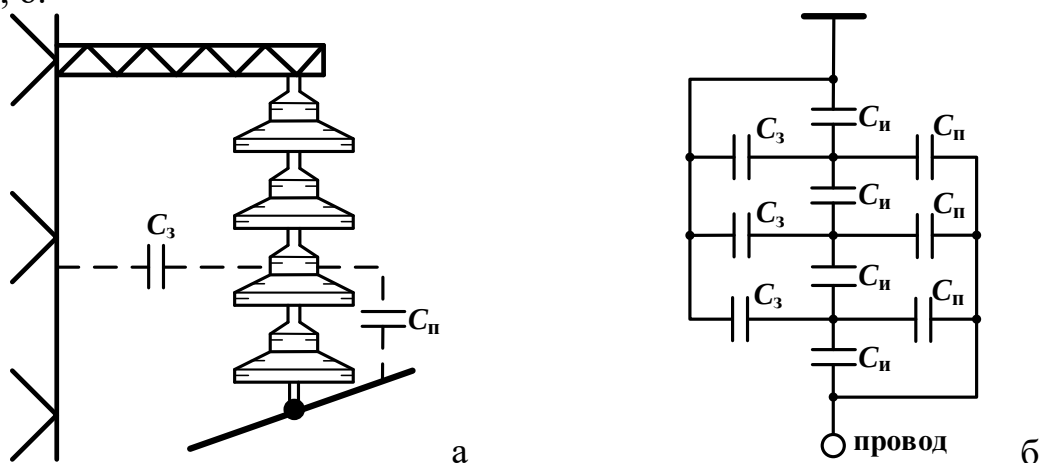


Рис.2.1 Гирлянда изоляторов с паразитными емкостями (а) и ее схема замещения (б)

Вследствие ответвления тока на емкости C_3 , токи, проходящие через собственные емкости изоляторов $C_{и}$, и падения напряжения на изоляторах будут тем меньше, чем дальше изолятор расположен по отношению к токоведущему проводу.

Влияние емкости $C_{п}$ носит противоположный характер, а именно: токи, проходящие через собственные емкости изоляторов $C_{и}$, и падения напряжения на изоляторах будут меньше на изоляторах, которые находятся дальше от заземленного конца гирлянды.

В реальных условиях наибольшее напряжение будет приложено к изолятору, расположенному около токоведущего провода, наименьшее – к изоляторам, находящимся в середине гирлянды, и несколько выше – к изоляторам у заземленного конца гирлянды.

Для такой схемы замещения распределение напряжения по изоляторам гирлянды можно рассчитать по формуле:

$$U_i = \frac{U_H}{C_{\Pi} + C_3} \left(C_{\Pi} + C_3 \frac{\operatorname{sh} \alpha(n-i)}{\operatorname{sh} \alpha n} - C_{\Pi} \frac{\operatorname{sh} \alpha i}{\operatorname{sh} \alpha n} \right),$$

где U_i – потенциал i – того изолятора относительно земли, U_H – напряжение, приложенное к гирлянде, i – номер изолятора в гирлянде, считая от провода, n – число изоляторов в гирлянде, $\alpha = \sqrt{\frac{C_{\Pi} + C_3}{C_{\Pi}}}$ – коэффициент, зависящий от соотношения емкостей гирлянды.

Для выравнивания напряжения по изоляторам гирлянды применяют экраны в виде овалов, восьмерок и пр., закрепляемых снизу гирлянды; на линиях с расщепленными фазами утапливают ближайшие изоляторы между проводами расщепленной фазы, расщепляют гирлянду около провода на две. Все эти меры выравнивают распределение напряжения из-за увеличения емкости C_{Π} .

Задача 3.

Волна перенапряжения $U_0(t)$ приходит с линии с волновым сопротивлением Z_1 на высоковольтное оборудование с волновым сопротивлением Z_2 и заданной ВСХ изоляции. Форма приходящей волны определяется уравнением:

$$U_0(t) = U \left[\exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) - \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right],$$

где T_1, T_2 и U – параметры, приведенные в табл. 3.1.

Для защиты оборудования установлен защитный аппарат с заданной вольт-амперной характеристикой (таблица 3.2). Согласно варианту задания используется либо вентильный разрядник, либо нелинейный ограничитель перенапряжения. Импульсное пробивное напряжение искрового промежутка вентильного разрядника $U_{пр}$ задано в таблице 3.1. Волновые сопротивления линии и защищаемого оборудования приведены в таблице 3.3.

Требуется:

- 1) построить график падающей на защитный аппарат волны $u_{пад}(t)$; определить время фронта τ_f и время импульса $\tau_{имп}$ этой волны;
- 2) построить вольт-амперную характеристику защитного аппарата и вольт-амперную характеристику исследуемой эквивалентной схемы;
- 3) с помощью графических построений получить зависимость напряжения от времени на защищаемом оборудовании после срабатывания защитного аппарата;
- 4) построить вольт-секундную характеристику изоляции защищаемого оборудования и сделать вывод об эффективности применения данного разрядника для защиты оборудования.

Числовые значения переменных параметров для различных вариантов приведены в табл. 3.1, 3.3 и 3.4.

Таблица 3.1

Численные данные волны напряжения

Показатель	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Напряжение волны U , кВ	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480
Постоянная времени T_1 , мкс	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
Постоянная времени T_2 , мкс	2	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
Пробивное напряжение ВР $U_{пр}$, кВ	140	160	180	190	200	210	220	230	240	250

Таблица 3.2

Вольт-амперные характеристики защитных аппаратов

Ток через аппарат I_p , кА	Напряжение на защитном аппарате U_p , кВ			
	РВС-35	РВМ-35	ОПН1-35	ОПН2-35
0	0	0	0	0
0,2	20	18	46	50
0,3	30	28	58	60
0,5	48	44	72	77
0,7	62	58	82	84

1	80	72	90	87
1,5	100	90	100	92
2	112	102	105	95
2,5	118	108	108	98
3	122	112	110	100
5	130	125	116	105
10	143	150	126	110

Таблица 3.3

Численные данные эквивалентной схемы задачи и тип защитного аппарата

Показатель	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Волновое сопротивление Z_1 , Ом	300	320	340	360	370	380	390	400	410	420
Волновое сопротивление Z_2 , Ом	200	250	300	400	250	400	300	250	300	400
Тип защитного аппарата	PBC	ОПН1	PBM	ОПН2	PBM	PBC	ОПН1	ОПН2	PBM	ОПН1

Вольт-секундная характеристика изоляции защищаемого оборудования описывается выражением

$$u_{из}(t) = A \sqrt{1 + \frac{T}{t}},$$

где параметры A , кВ и T , мкс найдены по испытаниям полным и срезанным грозовым импульсом. Данные для построения вольт-секундной характеристики защищаемой изоляции приведены в таблице 4.4.

Таблица 3.4

Параметры ВСХ изоляции

Параметр	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A , кВ	160	150	160	150	170	170	170	160	150	140
T , мкс	2	2	1,5	1,5	1,5	1	2,5	1	1	2

Методические указания к решению задачи.

Основными аппаратами защиты электрооборудования подстанций от набегающих волн служат вентильные разрядники (РВ) и нелинейные ограничители перенапряжения (ОПН). В работе требуется проанализировать пригодность одного из защитных аппаратов согласно заданию.

Схема включения вентильного разрядника для защиты изоляции электрооборудования от перенапряжения представлена на рис. 3.1, а. Защита оборудования от перенапряжения при использовании РВ осуществляется после пробоя искрового промежутка ИП.

ОПН подключается аналогично, но в отличие от РВ в его конструкции отсутствует искровой промежуток, поэтому через его нелинейное сопротивление (НС) постоянно протекает небольшой ток и защита от перенапряжения начинается сразу при приходе волны.

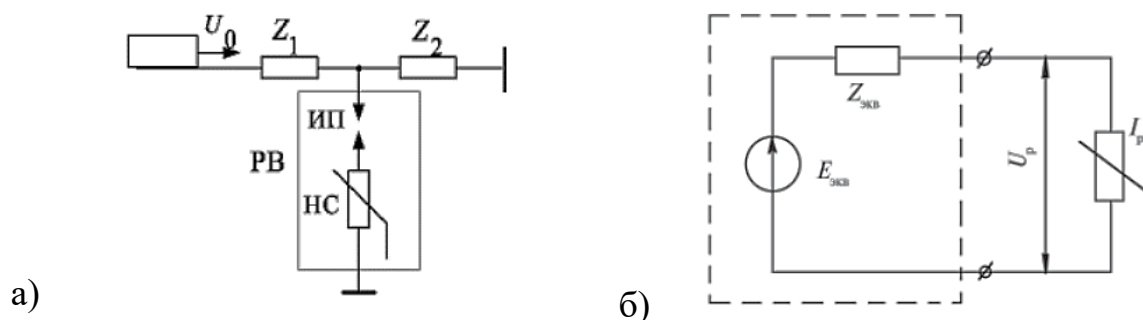


Рис. 3.1. Схема замещения до (а) и после (б) срабатывания разрядника

Для расчета этой схемы удобно использовать метод эквивалентного генератора, преобразовав схему относительно нелинейного сопротивления (см. рис. 3.1, б). В приведенной на рис. 3.1, б эквивалентной схеме $E_{\text{экв}}$ соответствует напряжению холостого хода (при непробитом искровом промежутке разрядника) с учетом коэффициента преломления падающего импульса, а $Z_{\text{экв}}$ – сопротивление относительно точек подключения разрядника при закороченном источнике. Эти величины равны:

$$E_{\text{экв}}(t) = U_0(t) \cdot \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2},$$

$$Z_{\text{экв}} = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}.$$

До момента пробоя искрового промежутка РВ напряжение на защищаемом оборудовании равно $E_{\text{экв}}(t)$.

После пробоя искрового промежутка напряжение на разряднике будет равно:

$$U_p(t) = E_{\text{экв}}(t) - I_p(t) \cdot Z_{\text{экв}}, \quad (*)$$

где $I_p(t)$ – ток через разрядник.

Из-за нелинейной зависимости $U_p(I_p)$ вышеприведенное уравнение следует решать графически. Для этого в прямоугольной системе координат необходимо провести следующие построения:

1. В первом квадранте построить вольт-секундную характеристику падающей волны с учетом коэффициента преломления, т.е. $E_{\text{экв}}(t)$. При определении $E_{\text{экв}}$ изменение времени t вести с шагом 0,2 мкс до $t = 2 - 5$ мкс в зависимости от варианта.

2. Во втором квадранте построить:

- вольтамперную характеристику разрядника $U_p(I_p)$, заданную в табл. 3.2;
- падение напряжения на эквивалентном сопротивлении $Z_{\text{экв}}$ при значениях тока, указанных в табл. 3.2;
- сумму этих составляющих в зависимости от тока, протекающего через разрядник, т.е. $U_p(t) + I_p(t) \cdot Z_{\text{экв}}$, что равно $E_{\text{экв}}(t)$ после пробоя искрового промежутка разрядника.

3. В первом квадранте построить график изменения значений напряжения на защитном аппарате (и, следовательно, напряжения на защищаемом объекте) в зависимости от времени $U_p(t)$.

Пример такого построения для РВ показан на рис. 3.2.

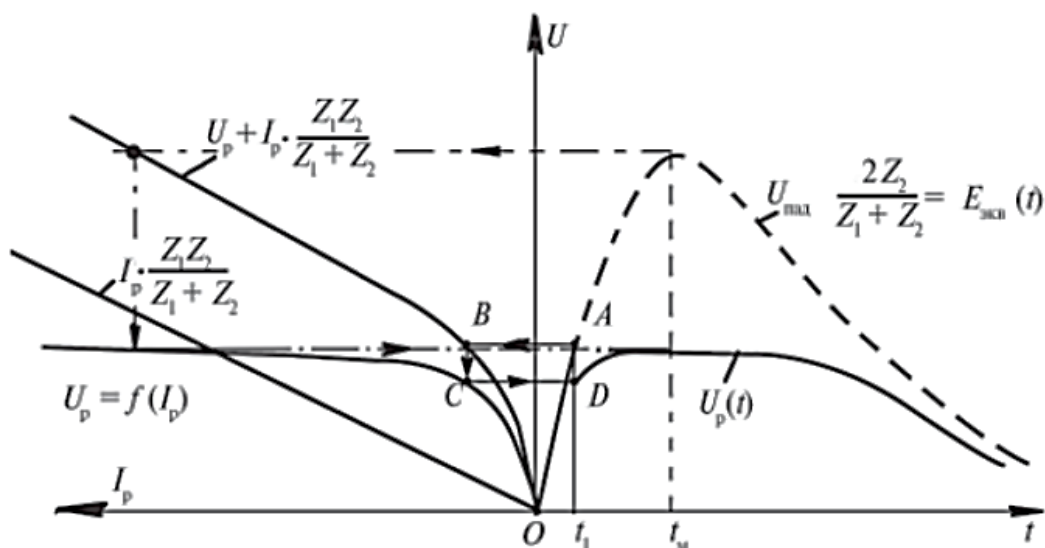


Рис.3.2. Графическое определение напряжения на разряднике и защищаемом объекте

До момента пробоя искрового промежутка РВ (точка A на кривой в первом квадранте рис. 3.2) напряжение на защищаемом оборудовании по форме и значению соответствует $E_{экр}(t)$. При $E_{экр}(t_1) = U_{пр} = 100$ кВ происходит пробой искровых промежутков РВ и через разрядник начинает протекать ток. На графике (рис. 3.2) это соответствует параллельному переносу значения $E_{экр}(t_1)$ из первого квадранта во второй квадрант на кривую суммарного падения напряжения (точка B). Вертикальный спуск с точки B на кривую вольтамперной характеристики разрядника (точка C) соответствует решению уравнения (*). С этого момента времени изменение значения падающей волны или $E_{экр}(t)$ приведет к изменению тока через разрядник, а напряжение на защищаемом объекте будет равно напряжению на разряднике $U_p(I_p)$.

Для построения зависимости напряжения на защищаемом объекте во времени $U_p(t)$ необходимо значение напряжения с вольтамперной характеристики разрядника перенести в первый квадрант на соответствующее время t . Для точки C вольтамперной характеристики разрядника этот момент времени равен t_1 .

Как следует из графического построения в момент пробоя искровых промежутков происходит резкое изменение напряжения на защищаемом объекте (точка D).

В первом квадранте построить ВСХ изоляции защищаемого оборудования. Из анализа расположения зависимостей остающегося напряжения $U_p(t)$ и вольт-секундной характеристики $u_{из}(t)$ делается вывод о пригодности аппарата для защиты изоляции электрооборудования. ВСХ изоляции оборудования должна лежать выше ВСХ защитного аппарата (на 10-15%).