

ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задание 1. Расчет клапанного электромагнита

Электромагнитным механизмом называют электромагнитные системы, в которых при изменении магнитного потока происходит перемещение подвижной части системы. Электромагнитные механизмы по способу перемещения якоря подразделяют на электромагниты клапанного и соленоидного типа, а также и с поперечно-двигающимся (вращающимся) якорем.

В контрольной работе предлагается: определить приближенно размеры клапанного электромагнита, если при рабочем зазоре δ и длительном режиме работы он развивает силу $P_{\text{Э}}$. Исходные данные для решения задачи приведены в таблице 1. Клапанный электромагнит постоянного тока представлен на рисунке 1.

Таблица 1. Исходные данные для выполнения задания 1

Вариант	Сила, развиваемая электромагнитом $P_{\text{Э}}$, Н	Рабочий зазор δ , м	Вариант	Сила, развиваемая электромагнитом $P_{\text{Э}}$, Н	Рабочий зазор δ , м
1	5	0,2	11	8	0,3
2	5,3	0,21	12	8,3	0,31
3	5,6	0,22	13	8,6	0,32
4	5,9	0,23	14	8,9	0,33
5	6,2	0,24	15	9,2	0,34
6	6,5	0,25	16	9,5	0,35
7	6,8	0,26	17	9,8	0,36
8	7,1	0,27	18	10,1	0,37
9	7,4	0,28	19	10,4	0,38
10	7,7	0,29	20	12	0,39

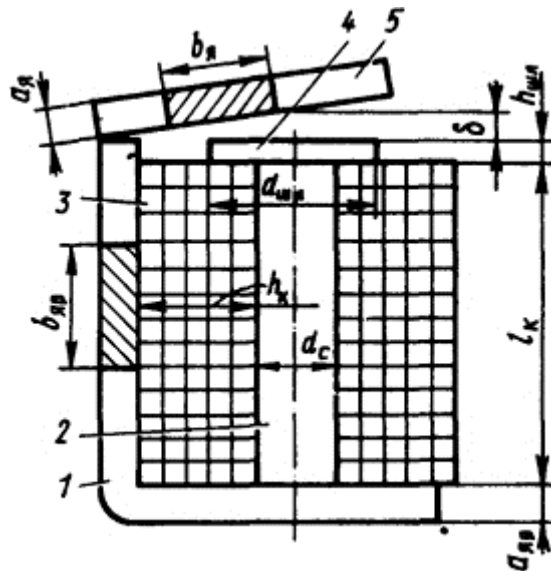


Рисунок 1 – Клапанный электромагнит постоянного тока:
 1 - ярмо (корпус); 2 - сердечник; 3 - намагничивающая катушка; 4 - полюсный наконечник (шляпка); 5 - якорь;

Пример выполнения задания 1

Определить приблизительно размеры клапанного электромагнита, если при рабочем зазоре $\delta = 0,25 \cdot 10^{-2}$ м и длительном режиме работы он развивает силу $P_{\text{э}} = 5$ Н (рис. 1).

Решение

Вычислим показатель $\Pi_{\text{к}}$ из формулы:

$$\Pi_{\text{к}} = \sqrt{P_{\text{э}}} / \delta, \quad (1)$$

$$\Pi_{\text{к}} = \sqrt{5} / (0,25 \cdot 10^{-2}) = 894 \text{ Н}^{0,5} / \text{м}.$$

Выбираем согласно таблице 2 клапанный электромагнит.

Таблица 2. Данные для выбора типа электромагнитов постоянного тока

Тип электромагнита	$\Pi_{\text{к}}, \text{ Н}^{0,5}/\text{м}$
--------------------	--

Броневой с плоским стопом и якорем	5000 - 28000
Броневой с якорем и стопом конической формы с углом при вершине 90°	1600 - 5300
То же, с углом при вершине 60°	380 - 1600
Клапанный электромагнит с П-образным магнитопроводом	840 - 8400
Соленоидный электромагнит	< 2,8

Далее по кривой 2 на рисунке 2 определяем индукцию $B_{\delta}=0,265$ Тл.

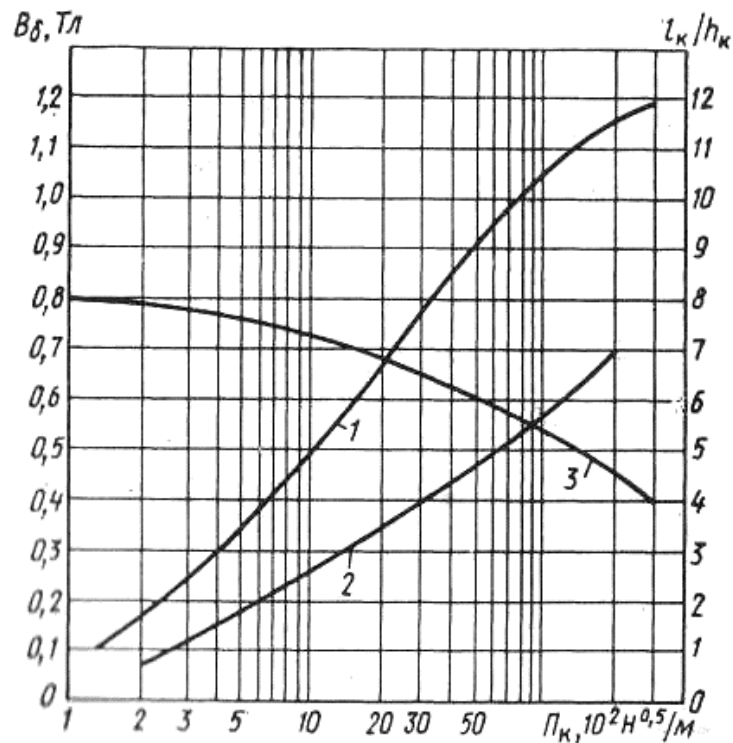


Рисунок 2 – Зависимости параметров электромагнитов от конструктивного показателя: 1 – индукция в рабочем зазоре броневое электромагнита с плоским стопом; 2 — индукция в рабочем зазоре клапанного электромагнита; 3— отношение длинны катушки к её толщине в броневом электромагните с плоским стопом

Площадь полюсного наконечника (шляпки) находим из формулы для электромагнитной силы Максвелла:

$$P_{\text{э}} = B_{\delta}^2 S / (2\mu_0); \quad (2)$$

$$S_{\text{шл}} = 2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5 / 0,265^2 = 1,79 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

тогда диаметр

$$d_{\text{шл}} = \sqrt{4 \cdot S_{\text{шл}} / \pi} = \sqrt{4 \cdot 1,79 \cdot 10^{-4} / \pi} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

По формуле:

$$B_{cmi} = \Phi_{cmi} / S_i, \quad (3)$$

где Φ_{cmi} – поток на соответствующем участке магнитной цепи, Вб; S_i – площадь его поперечного сечения находим поток:

$$\Phi_{\delta} = 0,265 \cdot 1,79 \cdot 10^{-4} = 0,47 \cdot 10^{-4} \text{ Вб},$$

а затем по формуле:

$$\Phi_x = \Phi_{\delta} \sigma_x, \quad (4)$$

задавшись коэффициентом рассеяния $\sigma = 1,3$, находим поток в сердечнике:

$$\Phi_c = 13 \cdot 0,47 \cdot 10^{-4} = 0,61 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}.$$

Задаемся значением $B_c = 0,8$ Тл и из

$$B_{cmi} = \Phi_{cmi} / S_i \quad (5)$$

находим площадь

$$S_c = 0,61 \cdot 10^{-4} / 0,8 = 0,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

тогда диаметр

$$d_c = \sqrt{4 \cdot 0,76 \cdot 10^{-4} / \pi} = 0,98 \cdot 10^{-2} \approx 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Длину цилиндрической бескаркасной катушки при длительном режиме работы определяют по формуле:

$$l_k = \sqrt[3]{\frac{F_y^2 \rho_{gn}}{2k_{zm} k_m (\mathcal{G}_{дон} - \mathcal{G}_0)}}, \quad (6)$$

где F_y – установившееся значение МДС катушки, А;

$$F_y = k_3 F_{mp}, \quad (7)$$

где k_3 – коэффициент запаса, равный $1,1 \div 1,2$, МДС троганья определяется:

$$F_{mp} = k_n F_{\delta}, \quad (8)$$

где k_n – коэффициент, учитывающий падение магнитного потенциала в рабочем зазоре, равный $1,2 \dots 1,5$; F_{δ} – падение магнитного потенциала в рабочем зазоре:

$$F_{\delta} = B_{\delta} \delta / \mu_0 \quad (9)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

Для нахождения размеров электромагнита, приняв коэффициенты $k_{\Pi}=1,25$ и $k_3 = 1,4$, определим с помощью формул, (6),(7) и (8):

$$F_y = 1,4 \cdot 1,25 \cdot 0,265 \cdot 0,25 \cdot 10^{-2} / (4\pi \cdot 10^{-7}) = 923A.$$

Задавшись коэффициентами $k_{3M} = 0,6$; $k_T = 10$ Вт/(м²·°С); $n = 4$ и превышением температуры $(\vartheta_{\text{доп}} - \vartheta_0) = 70^\circ\text{C}$ ($\rho_g = 2,34 \cdot 10^{-8}$ Ом·м), находим:

$$l_k = \sqrt[3]{\frac{923^2 \cdot 2,34 \cdot 10^{-8} \cdot 4}{2 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 70}} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ м.},$$

при этом

$$h_k = 4,5 \cdot 10^{-2} / 4 = 1,125 \cdot 10^{-2} \approx 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ м.},$$

диаметр катушки

$$D_k = d_c + 2h_k = 1 \cdot 10^{-2} + 2 \cdot 1,15 \cdot 10^{-2} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Используем рекомендуемые соотношения размеров: ширина ярма $b_{\text{яр}} = D_k$; толщина ярма $a_{\text{яр}} \geq S_c / b_{\text{яр}}$; ширина якоря (над шляпкой) $b_{\text{я}} \geq d_{\text{шл}}$, площадь сечения якоря $S_{\text{я}} = (0,5 \dots 0,8) S_c$; толщина якоря $a_{\text{я}} = S_{\text{я}} / b_{\text{я}}$; толщина $h_{\text{шл}} \geq d_c / 4$.
Вычисляем искомые размеры:

$$d_{\text{яр}} = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}; a_{\text{яр}} \geq 0,785 \cdot 10^{-4} / (3,3 \cdot 10^{-2}) \geq 0,24 \cdot 10^{-2} \approx 0,3 \cdot 10^{-2} \text{ м.},$$

где

$$S_c = \pi d_c^2 / 4 = \pi (1 \cdot 10^{-2})^2 / 4 = 0,785 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$b_z \geq 1,5 \cdot 10^{-2} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$S_z = 0,6 \cdot 0,785 \cdot 10^{-4} = 0,47 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$a_{\text{я}} = 0,47 \cdot 10^{-4} / (1,7 \cdot 10^{-2}) = 0,28 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$h_{\text{шл}} \geq 1 \cdot 10^{-2} / 4 = 0,25 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Производя проверочный расчет магнитной цепи и обмоточных данных, можно уточнить выбранные коэффициенты и искомые размеры.

Ответ:

$$d_c = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}; d_{\text{шл}} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}; h_{\text{шл}} = 0,25 \cdot 10^{-2} \text{ м}; l_c = l_k = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}; h_k = 1,15 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

$$b_{\text{яп}} = D_K = 3,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}; a_{\text{яп}} = 0,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}; b_{\text{я}} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}; a_{\text{я}} = 0,28 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Задание 2. Определение защитных свойств вентильного разрядника

Грозозащита изоляции подстанции от набегающих по линиям электропередачи волн грозовых перенапряжений осуществляется вентильными разрядниками или нелинейными ограничителями перенапряжений, которые устанавливаются в определенных местах и подсоединяются к шинам и заземлению подстанции.

В контрольной работе предлагается:

- по заданным параметрам гирлянды изоляторов ЛЭП определить наибольшую амплитуду волны грозового перенапряжения, набегающей с ЛЭП на шины подстанции;
- графоаналитическим методом определить защитные свойства заданного вентильного разрядника при набегании волны грозового перенапряжения на разрядник;

Пример выполнения второго задания дан в приложении.

Вариант задания для определения защитных свойств вентильного разрядника находится по списочному составу группы (табл. 3).

Таблица 3. Исходные данные вариантов задания

Вариант	Напряжения ЛЭП, $U_{\text{ном}}$, кВ	Количество отходящих ЛЭП, N	Тип изолятора гирлянды ЛЭП	Длина фронта волны перенапряжения на ЛЭП $\tau_{\text{ф}}$, мкс	Тип разрядника на подстанции
1.	220	2	ПС16-Б	3	РВС-220
2.	150	3	ПС16-А	1,5	РВС-150
3.	110	3	ПФ6-Б	2	РВС-110
4.	150	2	ПС12-А	2,5	РВМГ-150
5.	220	2	ПФ6-А	3	РВМГ-220
6.	110	2	ПФ6-Б	1,5	РВМГ-110

7.	110	2	ПС6-А	2,5	РВС-110
8.	35	3	ПС 12-А	1,5	РВС-35
9.	220	2	ПФ20-А	2,5	РВМГ-220
10.	150	3	ПС16-А	1,5	РВМГ-110
11.	150	2	ПФ6-А	2,5	РВС-150
12.	220	4	ПС16-А	1,5	РВМГ-220
13.	35	2	ПС6-А	2	РВМ-35
14.	220	3	ПС12-А	3	РВС-220
15.	110	4	ПФ16-А	1,5	РВМГ-110
16.	150	3	ПС 6-А	2,5	РВС-150
17.	35	3	ПФ6-В	1,5	РВС-35
18.	150	3	ПФ6-Б	2	РВМГ-150
19.	35	3	ПФ6-Б	2	РВМ-35
20.	35	2	ПФ6-А	1,5	РВМ-35

Пример выполнения задания 2

На подстанции $U_H = 110$ кВ установлен разрядник типа РВС-110. Количество отходящих линий $N = 2$. Длина фронта набегающей волны перенапряжения $\tau_\phi = 2$ мкс. Волновое сопротивление ЛЭП $Z_1 = 400$ Ом. Гирлянды линии электропередачи собраны из шести изоляторов типа ПФ16-А.

1. Определяем строительную длину гирлянды изоляторов (табл. 4):

$$L_\Gamma = H \cdot n = 173 \cdot 6 = 1038 \text{ мм.}$$

Таблица 4. Данные для определения количества изоляторов в гирлянде и длины гирлянды

Тип изолятора	Строительная высота изолятора H, мм	Количество изоляторов в гирлянде (n) при номинальном напряжении ЛЭП, кВ			
		35	110	150	220
ПФ6-А	167	3	7	9	13
ПФ6-Б	140	3	7	10	14
ПФ6-В	140	3	7	9	13
ПФ16-А	173	-	6	8	11
ПФ20-А	194	-	-	-	10
ПС6-А	130	3	8	10	14
ПС12-А	140	3	7	9	13

ПС16-А	180	-	6	8	11
ПС16-Б	170	-	6	8	12

2. Для значения $L_{\Gamma} = 1038$ мм по рисунку 3 находим $U_{50\%} = 620$ кВ. Это значение $U_{50\%}$ соответствует наибольшей амплитуде волны грозового перенапряжения, набегающей по ЛЭП на шины подстанции. Следовательно,

$$U_{MAX}^{Пад} = U_{\Gamma 50\%}$$

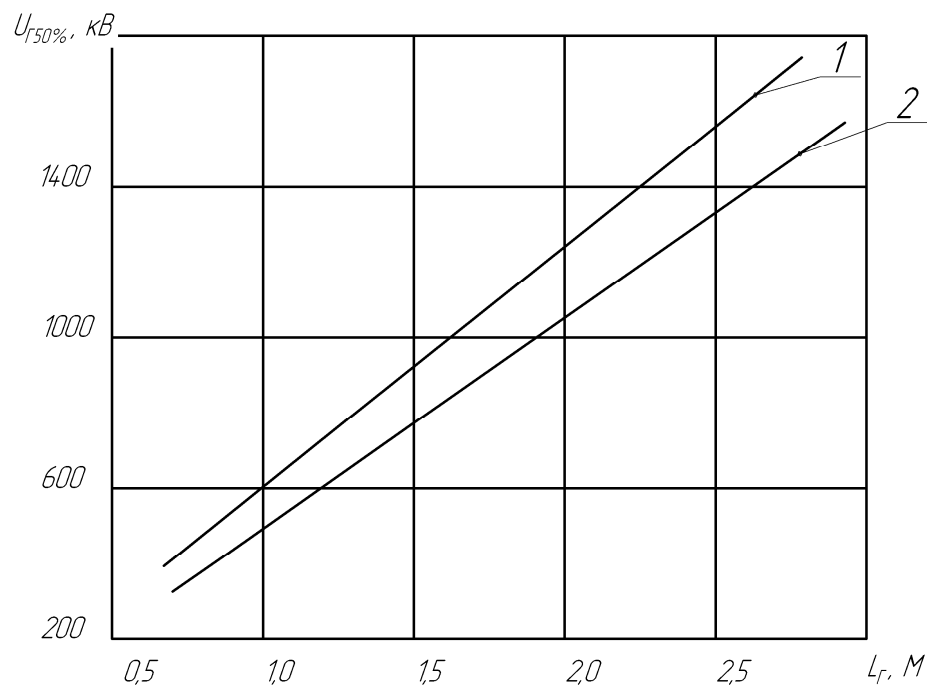


Рисунок 3 – Импульсные 50 %-е разрядные напряжения гирлянд изоляторов без арматуры: 1 – изоляторы типов ПС, ПВ (кроме ПФ6-А); 2 – изоляторы типа ПФ6-А

3. Рассчитываем вольт-амперную характеристику разрядника РВС-110 по уравнению:

$$U_p = C \cdot I_p^{\alpha_i}$$

Значения коэффициента α_i для первой и второй областей вольт-амперной характеристики берем из таблицы 5.

Таблица 5. Данные для построения вольт-амперной характеристики разрядников

Тип разрядника	$I_{сопр}, A$	I_1, A	I_2, A	α_1	α_2
PBC	90	470	940	0,34	0,14
PBMГ	250	1060	2120	0,29	0,16

4. Определяем коэффициент C_1 для первой области вольт-амперной характеристики ($I_p < 470 A$) при $\alpha_1 = 0,34$ значении токов $I_p = I_{сопр} = 90 A$ и напряжений $U_p = U_{ГАШ} = 100000 B$ (табл. 5 и 8):

$$C_1 = U_{ост} / I_p^{\alpha_1} = 100000 / 90^{0,34} = 21654,9.$$

Рассчитываем значение коэффициента C_2 для второй области ($10 kA > I_p \geq 1 kA$) при $\alpha_2 = 0,14$, токе координации $I_p = 3000 A$ и соответствующем ему значении остающегося напряжения $U_p = 315000 B$ (табл. 5 и 8):

$$C_2 = U_{ост} / I_p^{\alpha_2} = 315000 / 3000^{0,14} = 102686,6.$$

Результаты расчетов сводим в таблицы 6 и 7.

Таблица 6. Значения U_p для первой области вольт-амперной характеристики

I_p, A	100	200	300	400
U_p, B	103646,9	131191,7	150583,5	166056,8

Таблица 7. Значения U_p для второй области вольт-амперной характеристики

I_p, A	1000	1500	2000	2500	3000
U_p, B	270093,3	285868,7	297617,2	307061,5	315000,1

5. Определяем защитные свойства разрядника, рассчитывая графоаналитическим методом изменение напряжения на разряднике и изменение тока, протекающего через разрядник, при набегании с ЛЭП на разрядник косоугольной волны перенапряжения (рис. 4) с $\tau_\phi = 2 \text{ мкс}$ и $U_{МАХ}^{ПАД} = 620 \text{ кВ}$.

Принципиальная схема подключения разрядника и расчетная схема замещения с сосредоточенными параметрами приведена на рисунке 4 где введены следующие обозначения:

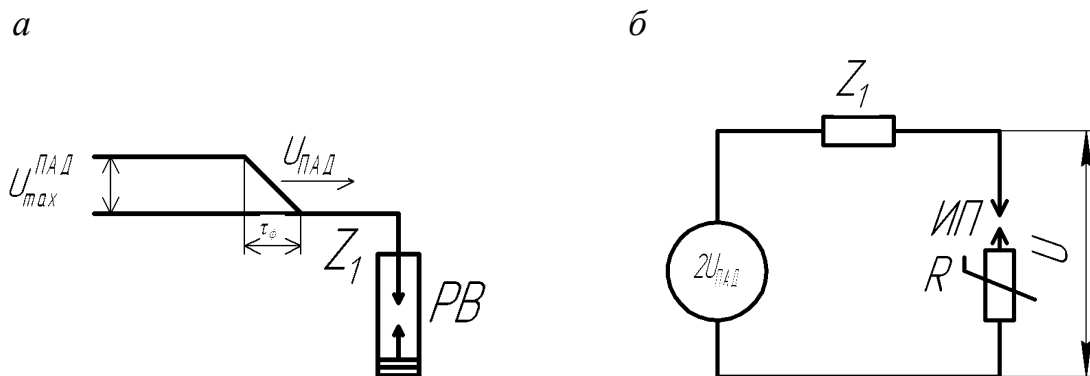


Рисунок 4 – Набегание волны перенапряжения на разрядник РВ по ЛЭП с волновым сопротивлением Z_1 : а – принципиальная схема подключения разрядника; б – расчетная схема замещения; ИП – искровой промежуток разрядника РВ; R – нелинейное сопротивление разрядника

Волновое сопротивление линии принято равным $Z_1, = 400 \text{ Ом}$.

Из рисунка 4 б видно, что до пробоя ИП напряжение на разряднике равно $U_P(t) = 2U_{\text{ПАД}}(t)$. После пробоя ИП напряжение на разряднике становится равным

$$U_P(t) = 2U_{\text{ПАД}}(t) - i_P(t) \cdot Z_1.$$

В первом приближении принимаем, что пробой ИП наступает при увеличении $U_P(t)$ до значения равного импульсному пробивному напряжению разрядника, которое для разрядника типа РВС-110, равно 285 кВ (табл. 8).

Таблица 8. Справочные данные вентильных разрядников различных типов

Группа разрядника	Тип разрядника	Номинальное напряжение разрядника	Напряжение гашения (действующее значение)	Импульсное пробивное напряжение при времени 1,5-20 мкс,	Напряжение остающееся $U_{\text{ост}}$, кВ, при импульсном токе с амплитудой, кА		
					$U_{\text{НОМ}}$, кВ	$U_{\text{ГАШ}}$, кВ	$U_{\text{ПР.ИМ.}}$, кВ
2	РВС-35	35	40,5	116	97	105	116
3	РВС-110	110	100	285	315	335	367
3	РВС-150	150	138	375	435	465	510
3	РВС-220	220	200	530	630	670	734
1	РВМ-35	35	40,5	108	80	87	98

2	РВМГ-110	110	100	260	245	265	295
2	РВМГ-150	150	138	370	340	370	410
2	РВМГ-220	220	200	515	475	515	570

Графическое построение $U_p(t)$ и $i_p(t)$ показано на рисунке 6 (приложение). Изменение $2U_{\text{ПАД}}(t)$ построено при $\tau_\phi = 2$ мкс и рассчитанном значении напряжения $U_{\text{МАХ}}^{\text{ПАД}} = 620$ кВ. Вольт-амперная характеристика разрядника построена по данным таблиц 6 и 7. Участок вольт-амперной характеристики между током $I_p = 470$ А и током $I_p = 1000$ А построен произвольно с помощью лекала. Остальные построения можно определить по рисунку 6 (приложение) и дополнительных пояснений к ним не требуется.

Из рисунка 6 (приложение) видно, что после пробоя ИП ($t_{\text{ПР}}$) напряжение на разряднике резко снижается. При этом наибольшее напряжение на разряднике или остающееся напряжение $U_{\text{ОСТ}}$ на превышает 310 кВ и по сравнению с $U_{\text{МАХ}}^{\text{ПАД}} = 620$ кВ оно снижается в два раза, становясь ниже импульсного испытательного напряжения трансформатора более чем в полтора раза ($U_{\text{ТИ}} = 480$ кВ). Однако фактическая величина перенапряжений на изоляции трансформатора зависит еще от длины ошиновки, присоединяющей разрядник к трансформатору, т.е. от места установки разрядника.

Форма волны грозового импульса перенапряжения, падающей с ЛЭП на шины подстанции, приведена на рисунке 5.

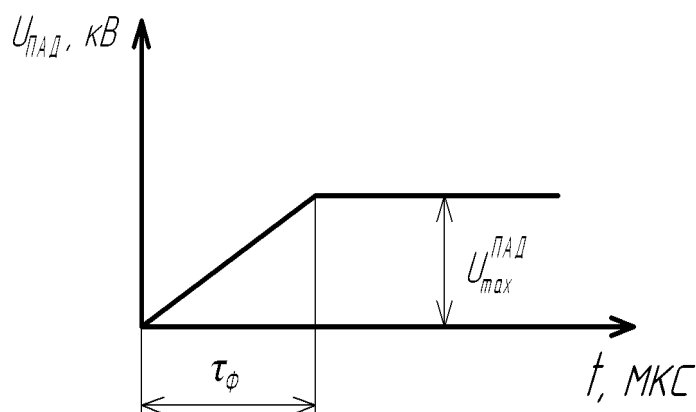


Рисунок 5 – Форма волны грозового перенапряжения, набегающей с ЛЭП на шины подстанции

Значение $U_{\text{MAX}}^{\text{ПАД}}$ (рис. 5) берется равным импульсному 50%-му разрядному напряжению гирлянды изоляторов (рис. 3).

Волновое сопротивление линии электропередачи Z_1 принять равным 400 Ом.

Среднюю высоту подвеса проводов ЛЭП на номинальное напряжение 35, 110, 150 и 220 кВ принять соответственно равной 8, 10, 12 и 14 м.

Значения импульсных испытательных напряжений трансформатора приведены в таблице 9.

Таблица 9. Исходные данные для расчета допустимого напряжения на внутренней изоляции трансформатора

Номинальное напряжение трансформатора $U_{\text{НТ}}$, кВ	35	110	150	220
Испытательное напряжение трансформатора при полном грозовом импульсе $U_{\text{ПИ}}$, кВ	200	480	550	750

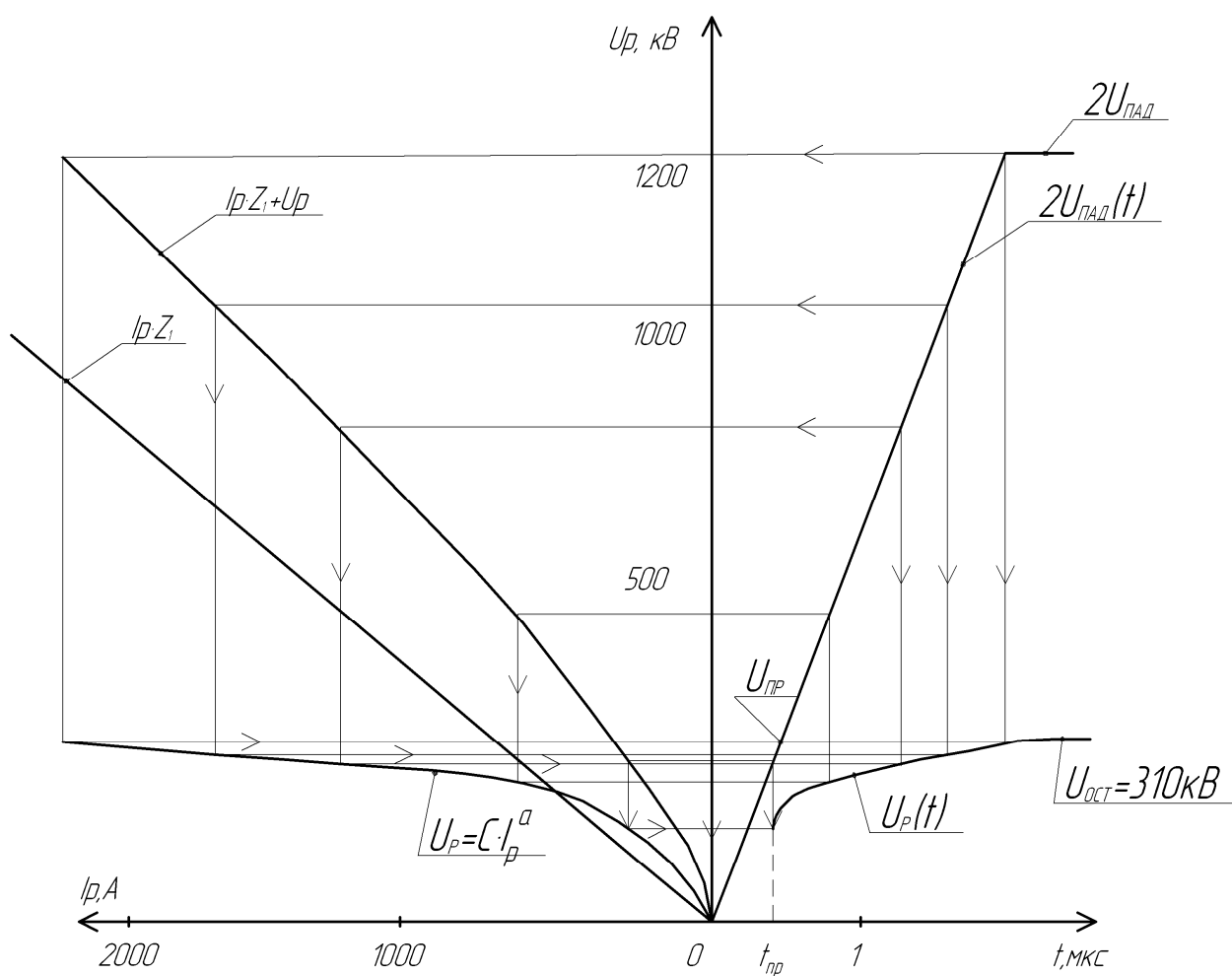


Рисунок 6 – Графический расчет напряжения на разряднике РВС-110