

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. Практичне заняття 1. Визначення напруженості та ємності на поверхні проводів 3-фазної лінії.....	5
2. Практичне заняття 2. Визначення мінімальної величини початкової напруги $(U_0)_{\min}$ для повітря, коли катод – мідь.....	6
3. Практичне заняття 3. Визначення втрат потужності в лінії при хорошій і поганій погоді	7
4. Практичне заняття 4. Визначення максимальної імпульсної розрядної напруги $(U_i)_{\max}$ в нормальних умовах атмосферного тиску.....	9
5. Практичне заняття 5. Визначення пробивної напруги для фарфорової пластини	10
6. Практичне заняття 6. Вибір заземлювача для системи захисту споруд від грозових перенапруг	12
7. Практичне заняття 7. Визначення величини захисної зони ℓ_0 від набігання хвиль перенапруги.....	14
8. Практичне заняття 8. Визначення індуктивності для захисту обмоток генератора від перенапруг.....	15
9. Практичне заняття 9. Визначення параметрів стержневого блискавковідводу для захисту об'єкта заданих розмірів	16
ПЕРЕЛІК ПОСИАНЬ.....	17

1. Практичне заняття 1

Визначення напруженості та ємності на поверхні проводів 3-фазної лінії

За допомогою формули $\delta = 0,386 \frac{p}{273+t}$ визначити напруженості та ємності на поверхні проводів 3-фазної лінії.

Таблиця 1 – Варіанти до практичного заняття №1

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
U_p , кВ	110	130	145	135	140	100	95	98	105	110	115	120	108	110	100
p , мм рт.ст.	740	720	730	738	740	735	738	736	730	742	737	740	744	745	735
t°	43	45	50	35	42	44	40	43	42	45	43	42	38	40	42

Приклад.

Розрядна напруга міжелектродного проміжку при нормальних умовах $U_p = 100$ кВ.

Чому дорівнює U'_p при $p = 745$ мм рт.ст. і $t = 40^\circ\text{C}$?

- Щільність повітря за цих умов

$$\delta = 0,386 \frac{p}{273+t} = 0,386 \frac{745}{273+40^\circ} = 0,919.$$

- Таким чином

$$U'_p = U_p \cdot \delta = 100 \cdot 0,919 = 91,9 \text{ кВ.}$$

2. Практичне заняття 2

Визначення мінімальної величини початкової напруги (U_0)_{min} для повітря, коли катод – мідь

За допомогою формули (U_0)_{min}=B(pa) визначити (U_0)_{min} для значень (pa), користуючись кривою Пашена для повітря.

Таблиця 2 – Варіанти до практичного заняття №2

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
PL	1	2	3	10	15	20	25	30	50	75	100	125	130	150	200
(U_0)_{min}															

Приклад.

Визначення мінімальної величини початкової напруги (U_0)_{min} для повітря, коли катод – мідь, $\gamma=0,025$ (число вивільнених електронів із катода при бомбардуванні його одним позитивним іоном).

1. За формулою $(pa)_M = \frac{\ell}{A} \ln \left(1 + \frac{1}{\gamma} \right)$ визначаємо величину $(pa)_M$.

$$(pa)_M = \frac{2,718}{14,6} 2,3 \lg \left(1 + \frac{1}{0,025} \right) = 0,69 \text{ см} \cdot \text{мм.рт.ст.},$$

де p – атмосферний тиск, мм.рт.ст.;

a – віддаль між електродами, см;

A – коефіцієнт, який залежить від розмірів і швидкості зіткнень з електронем частинок (температури). Для повітря A=14,6 см·мм.рт.ст.

2. При a=1 см атмосферний тис дорівнює p=0,69 мм рт.ст.

3. Величину (U_0)_{min} визначаємо за формулою

$$(U_0)_{\min} = B(pa),$$

де B – коефіцієнт ударної іонізації газу, який дорівнює 365 рт.ст.;

$$(U_0)_{\min} = 365 \cdot 0,69 = 252 \text{ В.}$$

З вище викладеного видно, що (U_0)_{min} залежить лише від природи газу (постійні A і B) і матеріалу катода (γ).

Наприклад, при тому ж катоді з міді $(pa)_{\min}$ для водню буде ≈ 2 , а (U_0)_{min}=260 В.

3. Практичне заняття 3 Визначення втрат потужності в лінії при хорошій і поганій погоді

Визначити втрати потужності в лінії з $U_K=220$ кВ при хорошій ($m_2=1$) і поганій ($m=0,8$) погоді; відносна щільність повітря $\delta=1$. Габарити лінії та радіус проводів такі: проводи розміщені горизонтально, відстань між першим і другим проводом $D_{12}=600$ см, радіус проводів $r=1,22$ см, середня висота провoda в прольоті $h=12$ м. Довжина лінії $L=200$ км, коефіцієнт шершавості (шороховатості), $m_1=0,82$.

Таблиця 3 – Варіанти до практичного заняття №3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
D_{12} , Ом	610	615	620	625	630	635	640	645	650	655	660	685	670	675	680
m_1	0,85	0,85	0,81	0,79	0,77	0,75	0,75	0,71	0,69	0,67	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57
m_2	1,1	1,12	1,14	1,16	1,18	1,2	1,22	1,24	1,26	1,28	1,3	1,32	1,34	1,36	1,38

Приклад.

1. Визначаємо критичну напруженість корони в хорошу погоду:

$$E_0 \cdot m_1 = 21,2 \cdot 0,82 = 17,4 \text{ кВ діюче/см,}$$

де $E_0=21,2$ кВ/см – напруженість.

2. Середня напруженість між точками виникнення корони (напругу на початку лінії приймаємо 231 кВ – на 5 % більшу від номінальної напруги $U_H=220$ кВ).

$$E = (E_{2H} + E_0 \cdot m_1) / 2 = (18 + 17,4) / 2 = 17,7 \text{ кВ діюче/см.}$$

3. Потужність втрат на корону в лінії визначаємо за формулою:

$$P_K = \frac{2,22 \left(f + \frac{6000}{D} \right) (U_\Phi - U_0)^2 \cdot 10^{-4}}{\ln D / L_C}, \text{ кВт/км,}$$

де P_K – втрати потужності на один провід лінії;

f – частота в Гц (50 Гц);

D – відстань між проводами, см;

U_0 – критична коронна напруга відносно нейтралі, $U_0=17,4$ кВ;

L_C – середня довжина переміщення іонів за півперіод, $L_C=14$ см.

$$P_K = \frac{2,22 \left(50 + \frac{6000}{600} \right) 1,22^2 \cdot 2,3^2 \lg \frac{600}{1,22} (17,7 - 17,4)^2 \cdot 10^{-4}}{2,3 \lg \frac{600}{14}} = 0,018 \text{ кВт/км.}$$

4. Визначаємо критичну напруженість корони при поганій погоді

$$E_0 \cdot m_1 \cdot m_2 = 21,2 \cdot 0,82 \cdot 0,8 = 13,9 \text{ кВ діюче/см.}$$

5. Втрати на корону в першому і третьому проводах дорівнюють

$$P_{K1} = P_{K2} = P_K \cdot \frac{(E_1 - E_0 \cdot m_1 \cdot m_2)^2}{(E - E_0 \cdot m_1)^2},$$

де $E_1=16,15$ – напруженість на першому проводі, кВ діюче/см.

$$P_{K1} = P_{K3} = 0,018 \cdot \frac{(16,15 - 13,9)^2}{(17,7 - 17,4)^2} = 1,01 \text{ кВт/км.}$$

6. Втрати на корону потужності у другому проводі дорівнюють

$$P_{K2} = P_K \cdot \frac{(E_2 - E_0 \cdot m_1 \cdot m_2)^2}{(E - E_0 \cdot m_1)^2},$$

де $E_2=17,2$ – напруженість на другому проводі, кВ діюче/см.

$$P_{K2} = 0,018 \cdot \frac{(17,2 - 13,9)^2}{(17,7 - 17,4)^2} = 2,18 \text{ кВт/км.}$$

7. Втрати потужності на всю лінію складають

$$P_K = L(2 \cdot P_{K1} + P_{K2}) = 200 \cdot (2 \cdot 1,01 + 2,18) = 840 \text{ кВт.}$$

4. Практичне заняття 4

Визначення максимальної імпульсної розрядної напруги (U_i)_{max} в нормальних умовах атмосферного тиску

Трапився удар блискавки в опору з захисним тросом. Напруга на тросі $U_{тр}=800$ кВ, хвильовий опір троса $Z_{11}=400$ Ом, хвильовий опір фазного проводу ЛЕП $Z_{22}=600$ Ом, $Z_{12}=120$ Ом – взаємний хвильовий опір троса і фазних проводів. Визначити напругу, під якою перебуває гірлянда ізоляторів.

Таблиця 4 – Варіанти до практичного заняття №4

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$U_{тр},$ кВ	820	825	828	830	795	800	850	840	815	810	795	820	815	805	810
$Z_{11},$ Ом	410	405	415	400	396	410	420	410	420	410	405	390	400	415	407
$Z_{12},$ Ом	120	125	128	123	115	118	125	128	123	118	115	120	125	130	123

Приклад.

1. Напруга проводів дорівнює:

$$U_{пр} = U_{тр} \frac{Z_{12}}{Z_{11}} = 800 \frac{120}{400} = 240 \text{ кВ.}$$

2. Напруга на гірлянді ізоляторів

$$U_0 = U_{тр} - U_{пр} = 800 - 240 = 560 \text{ кВ.}$$

5. Практичне заняття 5

Визначення пробивної напруги для фарфорової пластини

Визначити пробивну напругу фарфорової пластини завтовшки $a=1$ см.
 Прийняти $K=0,01$ Вт/см²·°C, $\epsilon_r=6$, $\lambda=0,0022$ Вт/см²·°C; $f=50$ Гц; $t_0=20^\circ\text{C}$.

Таблиця 5 – Варіанти до практичного заняття №5

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
α , см	0,7	0,9	1,1	1,12	1,13	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,19	1,2	1,22	1,24	1,26

Приклад.

1. З кривої (рис.5.1) знаходимо: при 20°C $\text{tg}\delta=0,009$; беремо два близьких значення $\text{tg}\delta$ близько температури 20°C приймаємо температурний коефіцієнт $\alpha=0,006$.

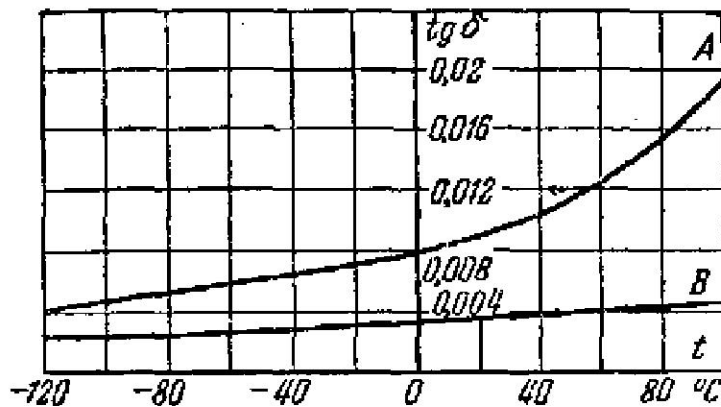


Рисунок 5.1 – Залежність $\text{tg}\delta$ від температури для зразків ізоляторного фарфору (A) і радіо фарфору (B)

2. Після підстановки відповідних величин отримаємо

$$\frac{\alpha\lambda}{2K} = \frac{1 \cdot 0,0022}{2 \cdot 0,01} = 0,11.$$

3. По кривій (рис.5.2) визначаємо $\varphi(c)=0,8$ і $\alpha(t_M-t_0)=1,018$.

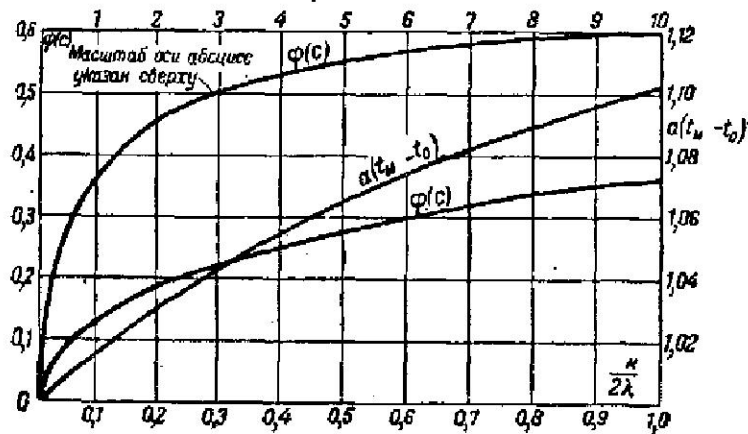


Рисунок 5.2 – Залежність $\varphi(c)$ і $\alpha(t_M - t_0)$ від параметра $\alpha\lambda/2k$

4. Визначаємо $U_{\text{ПР}}$ за формулою:

$$\begin{aligned}
 U_{\text{ПР}} &= 3,79 \cdot 10^6 \sqrt{\frac{\lambda}{\alpha \cdot f \cdot \varepsilon_r \cdot \text{tg} \delta_0}} \cdot \varphi(c) = \\
 &= 3,79 \cdot 10^6 \sqrt{\frac{0,01}{0,006 \cdot 50 \cdot 6 \cdot 0,009}} \cdot 0,08 = 237 \text{ кВ}.
 \end{aligned}$$

5. Максимальна температура, при якій починається тепловий пробій

$$t_M = \frac{\alpha(t_M - t_0)}{\alpha} + t_0 = \frac{0,018}{0,006} + 20^\circ = 190^\circ \text{C}.$$

6. Практичне заняття 6

Вибір заземлювача для системи захисту споруд від грозових перенапруг

Визначити імпульсний опір розтіканню 4-променевого горизонтального заземлювача, виготовленого з сталі круглого перерізу діаметром $d=1$ см, довжина кожного проміння $L=10$ м, глибина закладання $h=50$ см. Амплітуда імпульсного струму $I_{\max}=100$ кА (рис.6.1).

Питомий опір ґрунту, виміряного в суху погоду при сухій землі $\rho_{\text{виг}}=10^4$ Ом·см.

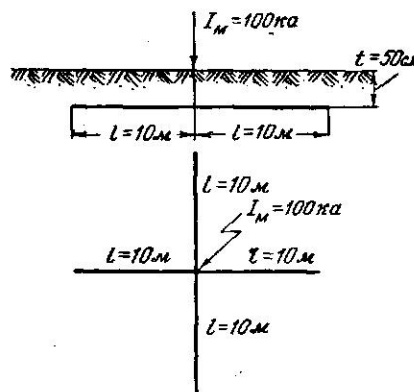


Рисунок 6.1 – Амплітуда імпульсного струму $I_{\max}=100$ кА

Таблиця 6 – Варіанти до практичного заняття №6

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I_{\max} , кА	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175
$\rho_{\text{розр}}$, Ом·см.	$1,05 \cdot 10^4$	$1,1 \cdot 10^4$	$1,15 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^4$	$1,22 \cdot 10^4$	$1,24 \cdot 10^4$	$1,26 \cdot 10^4$	$1,28 \cdot 10^4$	$1,3 \cdot 10^4$	$1,32 \cdot 10^4$	$1,34 \cdot 10^4$	$1,36 \cdot 10^4$	$1,38 \cdot 10^4$	$1,4 \cdot 10^4$	$1,42 \cdot 10^4$

Приклад.

1. Розрахунковий опір ґрунту $\rho_{\text{розр}}$ визначимо за формулою:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{виг}} \cdot f,$$

де $\rho_{\text{розр}}$ – питомий опір ґрунту, виміряний на даній ділянці;

f – коефіцієнт, що враховує зростання питомого опору ґрунту протягом року порівняно з даними, отриманими вимірюванням; виберемо для поширених видів ґрунту $f=1,4$.

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{виг}} \cdot f = 1,4 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}.$$

2. Опір розтіканню струму промислової частоти для променя заземлювача розраховуємо за формулою:

$$R_{\text{пр}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi L} \cdot \ln \frac{L^2}{hd} = \frac{1,4 \cdot 10^4}{2\pi \cdot 1000} \ln \frac{1000^2}{50 \cdot 1} = 2,2 \text{ Ом}.$$

3. Амплітуда імпульсного струму, що тікає в землю з кожного променя

$$I_a = \frac{I_{\text{акс}}}{4} = \frac{100}{4} = 25 \text{ кА}.$$

4. Імпульсний опір заземлювання кожного променя дорівнює

$$R_i = \alpha_i \cdot R_{\text{пр}},$$

де α_i – імпульсний коефіцієнт. Для даних розрахунків можна прийняти

$$\alpha_i = 0,9.$$

$$R_i = 0,9 \cdot 2,2 = 1,98 \text{ Ом}.$$

5. Імпульсний опір заземлення 4-променевого заземлювача визначимо за формулою

$$R_{i,\text{сист}} = \frac{R_i}{n} \cdot \frac{1}{\eta_i},$$

де n – число променів заземлювача;

η_i – імпульсний коефіцієнт використання, який враховує вплив одиничних заземлювачів. Для умов даних розрахунків можна прийняти $\eta_i = 0,65$.

$$R_{i,\text{сист}} = \frac{1,98}{4} \cdot \frac{1}{0,65} = 0,76 \approx 0,8 \text{ Ом}.$$

7. Практичне заняття 7

Визначення величини захисної зони ℓ_0 від набігання хвиль перенапруги

Визначити довжину підходу ℓ до генератора при захисті його стержневими блискавковідводами, якщо $I_M=50000$ А і $R_3=5$ Ом.

Таблиця 7 – Варіанти до практичного заняття №7

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$I_M, \text{А}$	49000	51000	53000	55000	57000	59000	61000	63000	65000	67000	69000	71000	73000	75000	77000

Приклад.

1. Визначаємо відношення

$$\frac{3 \cdot i_p}{I_M} = \frac{3 \cdot 3000}{5000} = 0,18.$$

2. Користуючись кривими (рис.7.1), знаходимо $\ell = 500$ м.

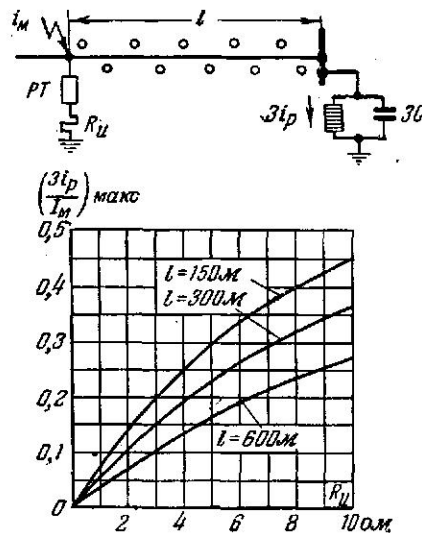


Рисунок 7.1 – Графік для визначення довжини ℓ захищеного підходу, опору заземлення R_3 розрядника

8. Практичне заняття 8

Визначення індуктивності для захисту обмоток генератора від перенапруг

На обмотку генератора з хвильовим опором $Z_2=80$ Ом падає прямокутна хвиля $U_0=100$ кВ. Визначимо індуктивність, котру треба включити для того, щоб напруга між першими витками при довжині витка $L=3$ м і середньої швидкості просування хвилі вздовж обмотки генератора $V=6 \cdot 10^7$ м/сек не перевищувало 600 В.

Таблиця 8 – Варіанти до практичного заняття №8

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$Z_2, \text{ Ом}$	80	85	90	95	100	105	110	120	125	130	135	140	145	150	155
$U_2, \text{ В}$	590	620	650	680	710	740	770	880	830	860	890	920	950	980	1010

Приклад.

1. При заданій умові крутизна не повинна перевищувати

$$\left(\frac{du_2}{dL} \right)_{\text{макс}} = \frac{600}{3} = 200 \text{ В/м} = 0,2 \text{ кВ/м.}$$

2. За цією величиною знаходимо значення індуктивності за формулою

$$L = \frac{2 \cdot U_0 Z_2}{V \left(\frac{du_2}{d\ell} \right)_{\text{макс}}} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 800}{6 \cdot 10^7 \cdot 0,2} = 13,3 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

9. Практичне заняття 9
Визначення параметрів стержневого блискавковідводу
для захисту об'єкта заданих розмірів

Визначити розміщення і висоту стержневого блискавковідводу для захисту об'єкта, що має довжину 10м, ширину 2 м, висоту 20 м, $R_u=20$ Ом, $L_M=1,5$ мкГн/м, $I_M=150$ кА, $\alpha=30$ кА/мксек.

Таблиця 9 – Варіанти до практичного заняття №9

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I_M , кА	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195	200	205	210	215
R_u , Ом	18	20	22	24	25	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46

Приклад.

1. Максимальний потенціал блискавковідводу на висоті об'єкта

$$U_M = I_M R_u L_M \cdot h \alpha = 150 \cdot 20 + 1,5 \cdot 20 \cdot 30 = 3900 \text{ кВ.}$$

2. Приймаючи допустиму напруженість для повітряного проміжка між блискавковідводом й об'єктом $E_{cp}=500$ кВ/м, визначаємо необхідну відстань від блискавковідводу до об'єкта

$$S = \frac{U_M}{E_{cp}} = \frac{3900}{500} = 8 \text{ м}$$

3. Радіус захисту на висоті $h_x=20$ м

$$r_x = \sqrt{(S + \ell)^2 + 1^2} = 18 \text{ м}$$

3. Висоту блискавковідводу h обчислимо за формулою:

$$r_x = \frac{1,6(h - h_x)}{1 + \frac{h_x}{h}}$$

Після підстановки в формулу $r_x=18$ м і обчислення, отримаємо $h=37$ м