

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**



**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ**

до виконання розрахунково-графічної роботи

з навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ В СИСТЕМАХ  
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ»**

*(для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання  
магістерської програми зі спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2018**

Методичні рекомендації та завдання до виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Електромагнітна сумісність в системах електроспоживання» (для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання магістерської програми зі спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. В. Ф. Рой. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 38 с.

Укладач д-р фіз.-мат. наук В. Ф. Рой

#### **Рецензент**

**В. А. Маляренко**, доктор технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою систем електропостачання та електроспоживання міст, протокол № 3 від 27 січня 2018 р.*

## ЗМІСТ

СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ .....	3
ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ .....	5
ТЕМИ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ .....	5
1 РОЗРАХУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ .....	6
1.1 Завдання .....	6
1.2 Рекомендації до виконання роботи .....	7
1.2.1 Складання розрахункової схеми .....	7
1.2.2 Розрахування величини електричного поля повітряних ліній .....	8
1.2.3 Розрахування зарядів проводів фаз повітряної лінії .....	9
1.2.4 Розрахування напруженості електричного поля .....	10
1.2.5 Розрахування аварійного режиму роботи повітряних ліній .....	10
1.2.6 Розрахування магнітного поля повітряних ліній .....	10
2 РОЗРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ НА СУМІЖНІ КОМУНІКАЦІЇ .....	11
2.1 Завдання .....	11
2.2 Вказівки до виконання роботи .....	12
2.3 Розрахування потенціалу, наведеного електричним полем повітряних ліній на лінії зв'язку .....	13
2.4 Розрахування зарядів проводів фаз повітряних ліній .....	15
2.5 Розрахування напруги, яку наводить магнітне поле повітряної лінії на лінії зв'язку .....	16
2.6 Розрахування електрорушійної сили, яка наводиться повітряною лінією на лінії зв'язку в нормальному режимі .....	16
2.7 Визначення наведеної електрорушійної сили в аварійному режимі .....	17
3 РОЗРАХУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПАСИВНИХ ЧАСТОТНИХ ФІЛЬТРІВ .....	18
3.1 Завдання .....	18
3.2 Вказівки до виконання роботи .....	19
4 РОЗРАХУНОК ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ПЕРСОНАЛ .....	22
4.1 Розрахування рівня електростатичного поля .....	23
4.2 Розрахування рівня електромагнітного поля різних частот .....	23
4.2.1 Розрахування електромагнітних полів різних частот .....	23
4.2.2 Розрахування електромагнітних полів в діапазоні частот 30 кГц – 300 ГГц .....	24
4.3 Оцінювання впливу імпульсних електромагнітних полів .....	29
4.4 Визначення амплітудно-часових параметрів імпульсних електромагнітних полів .....	31
4.5 Заходи захисту від впливу магнітних полів .....	32
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	34
ДОДАТКИ .....	35

## СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ПЛ	– повітряна лінія
ЕРС	– електрорушійна сила
ЛЗ	– лінія зв'язку
ЕМП	– електромагнітне поле
ІЕМП	– електромагнітне поле
РГР	– розрахунково-графічна робота
ПП	– прізвище ім'я по батькові
АЧХ	– амплітудно-частотна характеристика
КЗ	– коротке замикання
ЩПЕ	– щільність потоку енергії
МДР	– максимально допустимий рівень
ЕСП	– електростатичне поле
ЕП	– електричне поле
ЕЕ	– енергетична експозиція
ГДР	– гранично допустимий рівень
ЕМП	– електромагнітне поле
ЕМВ	– електромагнітне випромінювання
ЕМІ	– електромагнітний імпульс
РТО	– радіотехнічний об'єкт
ЛЕП	– лінія електропередачі
ФНЧ	– фільтри низької частоти
ФВЧ	– фільтри високої частоти

## **ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ**

Звіт по роботі оформляється на листах формату А4, на одній стороні листа. На першому (титulyному листі) вказується назва університету, кафедри, предмету, назви (теми) РГР, номер варіанту і рік виконання роботи. Також вказується ПІП викладача, спеціальність (група), ПІП студента. Звіт може бути як рукописним, так і машинописним.

1. Звіт має складатися з таких розділів:
  - завдання;
  - опис поставленої задачі;
  - розрахункові схеми (фільтра, розміщення опор та т.п.);
  - всі результати розрахунків з позначенням одиниць вимірювання;
  - графічні результати розрахунків (АЧХ, криві розподілу наведених напруг, напруженість поля і т. п.);
  - висновки по роботі.
2. Розрахунок проводиться в комплексних величинах, обов'язково вказуються одиниці вимірювань.
3. При використанні додаткової літератури вказати її в списку літератури.

## **ТЕМИ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ**

1. Розрахування електромагнітного поля повітряної лінії.
2. Розрахування впливу повітряної лінії на суміжні комунікації.
3. Розрахування пасивних частотних фільтрів.
4. Розрахування впливу електромагнітних полів на персонал.

# 1 РОЗРАХУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОВІТРЯНОЇ ЛІНІЇ

## 1.1 Завдання

Задано: клас напруги, тип опор ПЛ, струми навантаження та струми аварійного режиму ПЛ (табл. 1.1).

Треба визначити: електричне і магнітне поле промислової частоти поперек осі ПЛ на заданій висоті у опори або в прольоті ПЛ.

План роботи:

1. Описати електромагнітне поле промислової частоти, його джерела та наслідки.

2. Розрахувати та побудувати криву зміни напруги електричного поля  $E$  в нормальному і аварійному режимі ПЛ на заданій висоті. Діапазон визначення поля від – 100 до 100 м від осі ПЛ по горизонталі. Вплив грозо тросу та опори ВЛ на конфігурацію поля не враховувати.

3. Розрахувати та побудувати криві зміни магнітного поля  $H$  в нормальному і аварійному режимах ПЛ на заданій висоті. Діапазон визначення поля від – 100 до 100 м від осі ПЛ.

4. При визначенні електричного поля аварійний режим – це обрив (знеструмлення) двох дальніх від ділянки розрахунку поля фаз; для розрахунку магнітного поля аварійний режим – це однофазне КЗ на фазі, яка ближча до ділянки розрахунку поля.

5. Порівняйте одержані значення напруги електричного та магнітного полів ВЛ з нормами СанПіН 2.2.4.1191-03 «Електромагнітні поля в промислових умовах».

Таблиця 1.1 – Варіанти завдань

Варіант	Клас напруги ПЛ, $U_{ном}$	Струм навантаж., $A$	Струм КЗ, $kA$	Еквівалентний радіус проводу фази ПЛ, м	Висота визначення напруженості ЄМП, м	Місце розрахування поля
1	2	3	4	5	6	7
1	35 кВ	100	1,0	0,005	1,8	Біля опори
2	110 кВ	150	1,5	0,0095	1,8	Біля опори
3	220 кВ	200	2,0	0,012	1,8	Біля опори
4	330 кВ	250	2,5	0,09	1,8	Біля опори
5	500 кВ	300	3,0	0,15	1,8	Біля опори
6	750 кВ	350	3,5	0,22	1,8	Біля опори
7	1150 кВ	500	5,0	0,7	1,8	Біля опори
8	35 кВ	50	2,0	0,005	1,8	У прогоні
9	110 кВ	75	3,0	0,0095	1,8	У прогоні
10	220 кВ	100	4,0	0,012	1,8	У прогоні

Закінчення таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7
12	500 кВ	150	6,0	0,15	1,8	У прогоні
13	750 кВ	175	7,0	0,22	1,8	У прогоні
14	1150 кВ	250	8,0	0,7	1,8	У прогоні
15	35 кВ	75	3,0	0,01	5,0	Біля опори
16	110 кВ	100	4,0	0,02	5,0	Біля опори
17	220 кВ	150	5,0	0,024	5,0	Біля опори
18	330 кВ	200	6,0	0,12	5,0	Біля опори
19	500 кВ	250	7,0	0,18	5,0	Біля опори
20	750 кВ	300	8,0	0,25	5,0	Біля опори
21	1150 кВ	350	9,0	0,8	5,0	Біля опори
22	35 кВ	150	0,5	0,01	5,0	У прогоні
23	110 кВ	200	1,0	0,02	5,0	У прогоні
24	220 кВ	250	2,0	0,024	5,0	У прогоні
25	330 кВ	300	3,0	0,12	5,0	У прогоні
26	500 кВ	350	4,0	0,18	5,0	У прогоні
27	750 кВ	400	5,0	0,25	5,0	У прогоні
28	1150 кВ	450	6,0	0,8	5,0	У прогоні
29	35 кВ	200	4,0	0,005	3,0	Біля опори
30	110 кВ	300	5,0	0,0095	3,0	Біля опори
31	220 кВ	400	6,0	0,012	3,0	Біля опори
32	330 кВ	100	5,0	0,09	3,0	Біля опори
33	500 кВ	100	4,0	0,15	3,0	Біля опори
34	750 кВ	200	3,0	0,22	3,0	Біля опори
35	1150 кВ	200	2,0	0,7	3,0	Біля опори

## 1.2 Рекомендації до виконання роботи

### 1.2.1 Складання розрахункової схеми

За заданим класом напруги оберіть відповідну схему опори (дод. А). За довжиною гірлянди ізоляторів (дод. Б) визначте висоту підвісу проводів фаз на опорі. Розрахунок поля проводити в напрямку перпендикулярному осі ПЛ.

Відкладіть вісь  $X$  паралельно до поверхні землі та нанесіть координату  $x$  кожного фазного проводу ПЛ та діапазон зміни координати  $x$ , відповідної ділянки розрахунку напруги поля ПЛ. Нуль осі  $x$  співпадає з віссю ПЛ.

Якщо місце розрахунку задане біля опори, то висота підвісу проводів фаз  $h_{оп}$  визначається, як висота траверси, мінус довжина гірлянди ізоляторів.

Якщо розрахунок заданий в прольоті, то треба враховувати провис проводів. Стріла провису проводу  $f_{ПР}$  приймається 35 % від висоти підвісу проводів на опорі. Середня висота проводу над землею дорівнює:

$$h = h_{ОП} - (2/3) f_{ПР}, \quad \text{де } h_{ОП} - \text{висота підвісу проводу на опорі.}$$

### 1.2.2 Розрахування величини електричного поля повітряної лінії

Здійснюємо визначення власних і взаємних потенціальних коефіцієнтів.

Зв'язок між потенціалом  $U_1$  тіла  $O_1$  та зарядами  $\tau$  двох тіл визначається із співвідношення:

$$U_1 = \alpha_{11}\tau_1 + \alpha_{12}\tau_2, \quad (1.1)$$

де  $\alpha_{11}$  і  $\alpha_{12}$  – власний та взаємний потенціальні коефіцієнти, які залежать від геометричних характеристик тіла.

Аналогічну формулу можна записати для другого тіла (об'єкта  $O_2$ ):

$$U_2 = \alpha_{21}\tau_1 + \alpha_{22}\tau_2, \quad (1.2)$$

В системі заряджених  $n$  тіл спостерігається аналогічний взаємний вплив, тому загалом в матричній формі можна записати:

$$U = \alpha\tau \quad (1.3)$$

Потенціальні коефіцієнти визначаються на основі методу дзеркальних відображень, де джерело поля  $l$  вводиться його дзеркальне відображення  $l'$  (рис. 1.1).

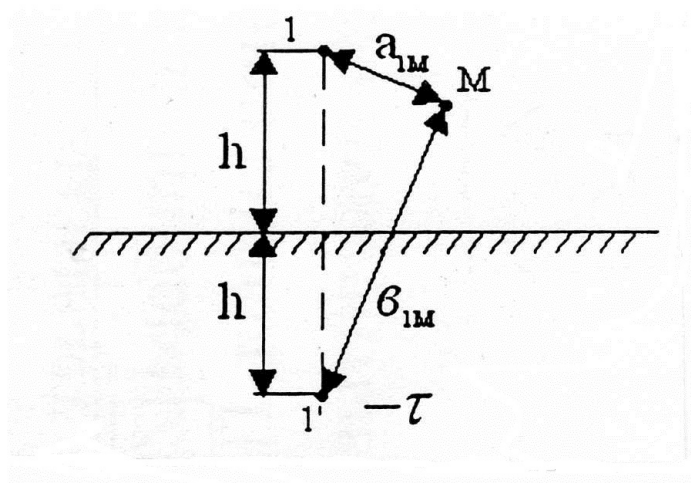


Рисунок 1.1 – Метод дзеркальних відображень полів



Для розрахунку потрібно визначити власні і взаємні потенціальні коефіцієнти проводів фаз ПЛ і проводів фаз ЛЗ, за формулою:

$$\alpha_{nn} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_n}{r_n}, \quad (1.4)$$

де  $r_n$  – радіус проводу або еквівалентний радіус для розірваної фази;  
 $h_n$  – середня висота підвісу проводу  $n$  над землею,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ .

$$\alpha_{nm} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{b_{nm}}{a_{nm}}, \quad (1.5)$$

де  $\alpha_{nm}$  – відстань від фазного проводу ПЛ або проводу ЛЗ  $m$  до проводу фази  $n$ ;  
 $b_{nm}$  – відстань від проводу фази ПЛ або проводу ЛЗ  $m$  до дзеркального відображення фази  $n$ .

Визначення відстаней:

$$\alpha_{nn} = \sqrt{(h_n - h_m)^2 + (x_n - x_m)^2}; \quad (1.6)$$

$$b_{nm} = \sqrt{(h_n + h_m)^2 + (x_n - x_m)^2}, \quad (1.7)$$

де  $h$  – середня висота проводу над землею;

$x$  – координата проводу по осі  $X$ .

### 1.2.3 Розрахування зарядів проводів фаз повітряної лінії

Для визначення зарядів  $\tau$  на проводах фаз ВЛ потрібно знайти розв'язок системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАУ) такого вигляду:

$$\begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & \alpha_{33} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \dot{\tau}_1 \\ \dot{\tau}_2 \\ \dot{\tau}_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{vmatrix} \quad (1.8)$$

де індекси 1, 2 і 3 позначають відповідні фази ПЛ;

коефіцієнти  $\alpha_{11} - \alpha_{13}$  – це власні взаємні потенціальні коефіцієнти проводів фаз ПЛ;

$U_1, U_2, U_3$  – фазні напруги проводів ПЛ, які є такими:

$$\dot{U}_1 = -\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}; \quad \dot{U}_2 = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} (0,5 + j 0,87); \quad \dot{U}_3 = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} (0,5 - j 0,87). \quad (1.9)$$

Розрахунки виконуються в комплексній формі, величини зарядів проводів фаз – комплексні.

#### 1.2.4 Розрахування напруженості електричного поля

Біля поверхні землі горизонтальна складова вектора напруженості електричного поля  $E_x$  незначна і її можна не враховувати. Відповідно, визначається тільки вертикальна компонента поля  $E_y$ .

Для нормального режиму роботи ПЛ

$$\dot{E}_y = \delta_{1m} \dot{t}_1 + \delta_{2m} \dot{t}_2 + \delta_{3m} \dot{t}_3, \quad (1.10)$$

де  $\delta$  – коефіцієнти, які визначаються по похідних потенціальних коефіцієнтів у вертикальному напрямку і дорівнюють:

$$\delta_{nm} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \left[ \frac{h_n + h_m}{(h_n + h_m)^2 + (x_n - x_m)^2} + \frac{h_n - h_m}{(h_n - h_m)^2 + (x_n - x_m)^2} \right] \quad (1.11)$$

Дані коефіцієнти визначаються для кожної пари «провід фази ПЛ – точка розрахунку поля», при цьому враховується фактична висота проводу над землею в місці розрахунку.

#### 1.2.5 Розрахування аварійного режиму роботи повітряної лінії

Під час розрахування аварійного режиму заряди пошкоджених фаз приймаємо рівними нулю. Розрахунок проводимо тільки для одної пари «провід фази ПЛ – точка розрахунку».

На графіку відображаємо криву зміни значення модуля напруженості електричного поля  $|E_y|$  в залежності від координати  $x$  (відстані від осі ПЛ) в сталому й аварійному режимах роботи ПЛ.

При розрахункові аварійного режиму струми в здорових фазах приймаємо рівними нулю. Розрахунок проводимо тільки від струму, який протікає в пошкодженій фазі.

На графікові відображаємо криву зміни значення модуля напруженості магнітного поля  $|H|$  в залежності від координати  $x$  (відстані від осі ПЛ) в сталому й аварійному режимах роботи ПЛ.

#### 1.2.6 Розрахування магнітного поля повітряної лінії

Напруженість магнітного поля ПЛ визначається як суперпозиція (сума) магнітних полів від кожного фазного проводу ПЛ.

Напруженість магнітного поля у будь якій точці  $M$ , створюваного одним фазним проводом ПЛ на відстані  $a$  від нього, визначається виразом:

$$\dot{H}_{nm} = \frac{\dot{I}_n}{2\pi a_{nm}} = \frac{\dot{I}_n}{2\pi \sqrt{(h_n - h_m)^2 + (x_n - x_m)^2}}, \quad (1.12)$$

де  $I_1, I_2, I_3$  – струми проводів ПЛ що визначаються за виразами:

$$\dot{I}_1 = -I_H; \quad \dot{I}_2 = I_H (0,5 + j0,87); \quad \dot{I}_3 = I_H (0,5 - j0,87),$$

де  $I_H$  – заданий струм навантаження ПЛ; висоту проводу над землею приймаємо рівною фактичній висоті проводу в місці розрахунку.

Сумарну напруженість магнітного поля визначаємо як векторну суму напруженості магнітного поля від кожного фазного проводу ПЛ (при цьому геометричні напрями векторів  $\vec{H}$  приймаємо в цій задачі рівними).

## 2 РОЗРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ НА СУМІЖНІ КОМУНІКАЦІЇ

### 2.1 Завдання

Дано відрізок паралельного розташування ПЛ та ліній зв'язку (ЛЗ). Лінія зв'язку ізольована від землі, довжина відрізка паралельного розташування (зближення) відома (табл. 2.1). Габарити опор визначаються по кресленню для відповідного класу напруги ПЛ. Грозівідвід ПЛ при розрахунку не враховується. Струми навантаження  $I$  та струм (КЗ) в аварійному режимі ПЛ відомі.

План роботи:

а) пояснити причини та наслідки появи напруги, яка передається на суміжні комунікації при ємнісному та індуктивному впливу ПЛ;

б) розрахувати напругу, яка наводиться електричним полем ПЛ на ЛЗ при зміні відстані між осями ПЛ та ЛЗ від – 100 м до 100 м;

с) розрахувати напругу, яка наводиться магнітним полем ПЛ на ЛЗ при зміні відстані між осями ПЛ та ЛЗ від – 100 м до 100 м;

д) розрахунок в кожному випадку виконайте для нормального та аварійного режимів роботи ПЛ. Для індуктивного впливу – розрахунковий аварійний режим – однофазне КЗ на найближчій до ЛЗ фазі; для ємнісного впливу аварійний режим ПЛ – знеструмлення (обрив) двох дальніх від ЛЗ фаз.

Таблиця 2.1 – Варіанти завдань

Варі - ант.	Клас напруги ВЛ	Середня висота проводу ЛЗ, м	Струм навантаження, А	Струм КЗ, кА	Еквівалентний радіус проводу фази ВЛ, м	Довжина відрізка зближення, км	Питомий опір землі, Ом м
1	2	3	4	5	6	7	8
1	35 кВ	3,0	100	1,0	0,005	20,0	100
2	110 кВ	3,0	150	1,5	0,009 5	20,0	150
3	220 кВ	3,0	200	2,0	0,012	20,0	200
4	330 кВ	3,0	250	2,5	0,09	10,0	250
5	500 кВ	3,0	300	3,0	0,15	10,0	300
6	750 кВ	3,0	350	3,5	0,22	10,0	350
7	1150 кВ	3,0	500	5,0	0,7	5,0	400
8	35 кВ	4,0	50	2,0	0,005	40,0	450
9	110 кВ	4,0	75	3,0	0,009 5	40,0	500

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8
10	220 кВ	4,0	100	4,0	0,012	40,0	550
11	330 кВ	4,0	125	5,0	0,09	20,0	600
12	500 кВ	4,0	150	6,0	0,15	20,0	650
13	750 кВ	4,0	175	7,0	0,22	20,0	700
14	1150 кВ	4,0	250	8,0	0,7	10,0	750
15	35 кВ	3,5	75	3,0	0,01	15,0	700
16	110 кВ	3,5	100	4,0	0,02	15,0	650
17	220 кВ	3,5	150	5,0	0,024	15,0	600
18	330 кВ	3,5	200	6,0	0,12	7,5	550
19	500 кВ	3,5	250	7,0	0,18	7,5	500
20	750 кВ	3,5	300	8,0	0,25	7,5	450
21	1150 кВ	3,5	350	9,0	0,8	7,5	400
22	35 кВ	4,5	150	0,5	0,01	100,0	350
23	110 кВ	4,5	200	1,0	0,02	100,0	300
24	220 кВ	4,5	250	2,0	0,024	100,0	250
25	330 кВ	4,5	300	3,0	0,12	100,0	200
26	500 кВ	4,5	350	4,0	0,18	50,0	150
27	750 кВ	4,5	400	5,0	0,25	40,0	100
28	1150 кВ	4,5	450	6,0	0,8	30,0	50
29	35 кВ	2,5	200	4,0	0,005	75,0	75
30	110 кВ	2,5	300	5,0	0,009 5	75,0	150
31	220 кВ	2,5	400	6,0	0,012	150,0	300
32	330 кВ	2,5	100	5,0	0,09	150,0	350
33	500 кВ	2,5	100	4,0	0,15	300,0	450
34	750 кВ	2,5	200	3,0	0,22	200,0	650
35	1150 кВ	2,5	200	2,0	0,7	100,0	800

## 2.2 Рекомендації до виконання роботи

а) складіть розрахункову схему. По заданому класу напруги виберіть відповідну схему опори (дод. А). По довжині гірлянди ізоляторів (дод. Б), визначте висоту підвісу проводів фаз на опорі.

б) відкладіть вісь  $X$  вздовж поверхні землі, на якій позначити координату  $x$  кожного фазного проводу ВЛ і діапазон зміни координати  $x$ , відповідно різній довжині між осями ПЛ та проводом ЛЗ. Нуль осі  $X$  відповідає осі ПЛ.

в) відкладіть вертикальну вісь  $h$  кожного фазного проводу ПЛ та проводу ЛЗ (рис. 2.1). Вказати номери фаз (прийняти по схемі опори – дод. А).

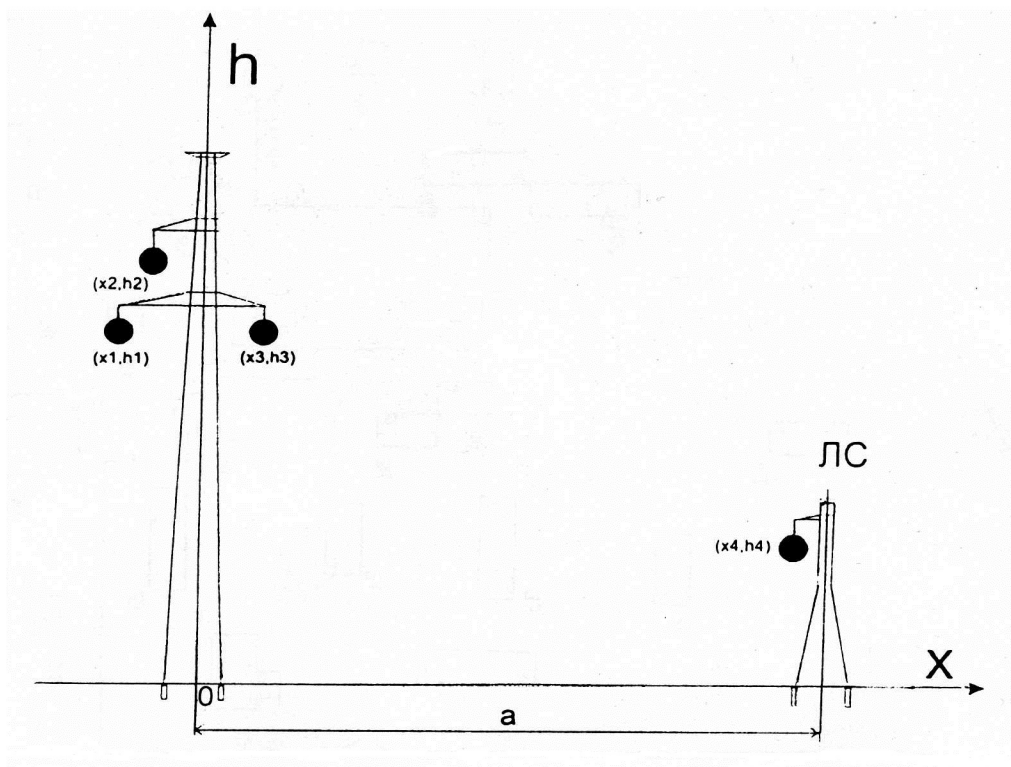


Рисунок 2.1 – Схеми розташування опор

Стрілу провису проводу ВЛ  $f_{\text{пр}}$  приймаємо 35 % від висоти підвісу проводів на опорі. Середня висота проводу ПЛ над землею дорівнює

$$H = h_{\text{оп}} - 2/3 f_{\text{пр}}, \quad (2.1)$$

де  $h_{\text{оп}}$  – висота підвісу проводу на опорі.

### 2.3 Розрахування потенціалу, наведеного електричним полем повітряної лінії на лінії зв'язку

Визначаємо власні та взаємні потенціальні коефіцієнти.

Зв'язок між потенціалом  $U_1$  тіла  $O_1$  та зарядами  $\tau$  двох тіл визначається співвідношенням:

$$U_1 = \alpha_{11}\tau_1 + \alpha_{12}\tau_2, \quad (2.2)$$

де  $\alpha_{11}$  та  $\alpha_{12}$  – особистий та взаємний потенціальний коефіцієнти, які залежать від геометричних характеристик тіла.

Аналогічно можна записати для другого тіла (об'єкту  $O_2$ ).

$$U_2 = \alpha_{21}\tau_1 + \alpha_{22}\tau_2. \quad (2.3)$$

В системі заряджених  $n$  тіл має місце аналогічний взаємний вплив, тому в загальному випадку можливо записати в матричній формі

$$U = \alpha\tau. \quad (2.4)$$

Потенціальні коефіцієнти визначаються на основі методу дзеркальних відображень, в якому поряд з джерелом поля  $1$  вводиться його дзеркальне зображення  $1'$  (рис. 2.2)

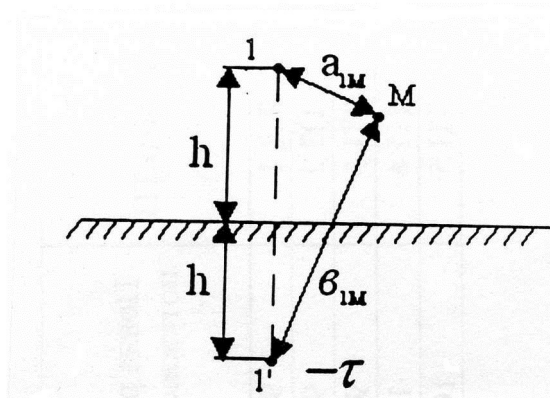


Рисунок 2.2 – Схема дзеркальних відображень полів

Для розрахунку потрібно визначити особисті та взаємні потенціальні коефіцієнти проводів фаз та проводів ЛЗ, з такого виразу:

$$\alpha_{nn} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h_n}{r_n}, \quad (2.5)$$

де  $r_n$  – радіус проводу або еквівалентний радіус для розщепленої фази, м,  
 $h_n$  – середня висота підвісу проводу  $n$  над землею,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

$$\alpha_{nm} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{b_{nm}}{a_{nm}}, \quad (2.6)$$

де  $\alpha_{nm}$  – відстань від фазного проводу ПЛ або проводу ЛЗ до проводу фази  $n$ ,  
 $b_{nm}$  – відстань від проводу фази ПЛ чи проводу ЛЗ  $m$  до дзеркального зображення фази  $n$ .

Відстані визначаються з такого виразу:

$$\alpha_{nm} = \sqrt{(h_n - h_m)^2 + (x_n - x_m)^2}, \quad (2.7)$$

$$b_{nm} = \sqrt{(h_n - h_m)^2 + (x_n - x_m)^2}, \quad (2.8)$$

де  $h$  – середня висота проводу над землею,

$x$  – координата проводу по осі  $X$ .

## 2.4 Розрахування зарядів проводів фаз повітряної лінії

Для визначення зарядів  $\tau$  на проводах фаз ПЛ потрібно знайти рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) такого вигляду:

$$\begin{vmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} \\ \alpha_{12} & \alpha_{22} & \alpha_{23} \\ \alpha_{13} & \alpha_{23} & \alpha_{33} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \dot{\tau}_1 \\ \dot{\tau}_2 \\ \dot{\tau}_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dot{U}_3 \end{vmatrix}, \quad (2.9)$$

де індексами 1, 2, 3 позначені фази ПЛ;

коефіцієнти  $\alpha_{11} - \alpha_{33}$  власні та взаємні потенціальні коефіцієнти проводів фаз ПЛ.

Фазні напруги проводів ВЛ  $U_1, U_2, U_3$  дорівнюють:

$$\dot{U}_1 = -\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}; \quad \dot{U}_2 = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}(0,5 + j 0,87); \quad \dot{U}_3 = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}}(0,5 - j 0,87). \quad (2.10)$$

\*Розрахунок проводиться в комплексній формі, величини зарядів проводів фаз – комплексні.

Потенціал на проводі ЛС, який наводиться всіма трьома фазами (в нормальному режимі роботи ПЛ) визначається з виразу:

$$\dot{\phi}_M = \alpha_{1M} \dot{\tau}_1 + \alpha_{2M} \dot{\tau}_2 + \alpha_{3M} \dot{\tau}_3 \quad (2.11)$$

Потенціал на проводі ЛЗ, який наводиться однією фазою в аварійному режимі :

$$\dot{\phi}_M = \alpha_{nm} \dot{\tau}_n, \quad (2.12)$$

де  $n$  – номер фази, яка залишилась під напругою.

Розрахунок потенціалу на проводі ЛЗ треба здійснити для всього заданого діапазону виміру відстаней між осями ПЛ та осями ЛЗ. При цьому вимірюються відповідні відстані в виразі для визначення взаємного потенціального коефіцієнта проводу фази ПЛ – проводу ЛЗ  $\alpha_{nm}$ . Значення наведеного потенціалу відобразити на графіку у вигляді кривої залежності модуля наведеного потенціалу від відстані між осями ПЛ та ЛЗ.

## 2.5 Розрахування напруги, яку наводить магнітне поле повітряної лінії на лінію зв'язку

При визначенні взаємних індуктивностей допускаємо, що є два проводи (рис. 2.3), які розміщені паралельно один до другого на відстані  $a$ , висота підвісу проводів –  $h_1$  і  $h_2$ :

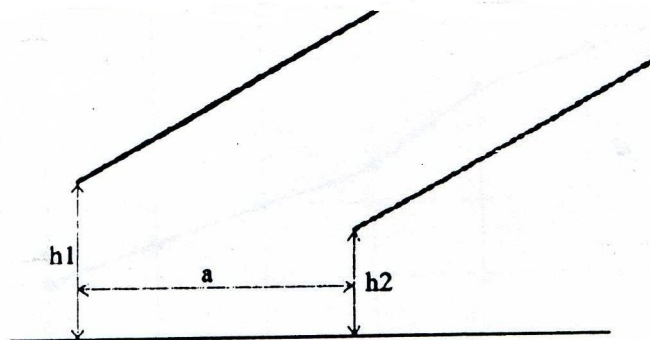


Рисунок 2.3 – Схема розміщення проводів повітряної лінії та лінії зв'язку

Розрахунок взаємної індуктивності між цими двома проводами при умові повернення зворотного струму у впливаючому проводі через землю здійснюється з виразу

$$M = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{\sqrt{a^2 + (h_1 + h_2 + 800 \sqrt{\rho/f})^2}}{\sqrt{a^2 + (h_1 - h_2)^2}}, \text{ Гн/м}, \quad (2.13)$$

де:  $h_1$  – середня висота підвісу впливаючого проводу, м;

$h_2$  – середня висота підвісу, підверженого впливу проводу, м;

$a$  – відстань між проводами по горизонталі, м;

$\rho$  – питомий опір землі, Ом.м;

$f$  – частота струму, Гц.

З виразу (2.11) потрібно вирахувати взаємну індуктивність між кожним із фазних проводів ПЛ та ЛЗ.

## 2.6 Розрахування електрорушійної сили, яка наводиться повітряною лінією на лінію зв'язку в нормальному режимі

$$\dot{E}_{зф} = L \cdot (\dot{I}_A \cdot j\omega M_A + \dot{I}_B \cdot j\omega M_B + \dot{I}_C \cdot j\omega M_C), \quad (2.14)$$

де  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  – струми навантаження в фазних проводах ПЛ, А:

$$\dot{I}_1 = -\dot{I}_n; \quad \dot{I}_2 = \dot{I}_n (0,5 + j0,87); \quad \dot{I}_3 = \dot{I}_n (0,5 - j0,87); \quad (2.15)$$

$M_A, M_B, M_C$  – взаємні індуктивності між кожною із фаз і однопровідною лінією, Гн/м,

$L$  – довжина відрізка зближення, м.



## 2.7 Визначення наведеної електрорушійної сили в аварійному режимі

Електрорушійна сила в аварійному режимі визначається з виразу

$$E_{\text{кз}} = L \cdot \dot{I}_{\text{кз}} \cdot j\omega M_1, \quad (2.16)$$

де  $\dot{I}_{\text{кз}}$  – струм КЗ в пошкодженім фазному проводі ПЛ, А;

$M_1$  – взаємна індуктивність між пошкодженою фазою і однопровідною лінією, Гн/м;

$L$  – довжина відрізка зближення, м.

Визначення наведеної ЄРС на проводі ЛЗ треба розрахувати для всього заданого діапазону зміни відстані між осями ПЛ та ЛЗ. При цьому змінюються відповідні відстані у виразі для визначення взаємної індуктивності проводу фази ПЛ – провід ЛЗ. Ці значення модуля наведеної ЄРС на відрізку зближення треба побудувати на графіку у вигляді кривої залежності ЄРС від відстані між осями ПЛ та ЛЗ.

В якості прикладу на рисунку 2.4 приведені результати розрахунку наведеної напруги при ємнісному впливі ПЛ, визначені при переміщенні ЛЗ в діапазоні  $x$  від  $-50$  до  $+50$  м від осі ПЛ.

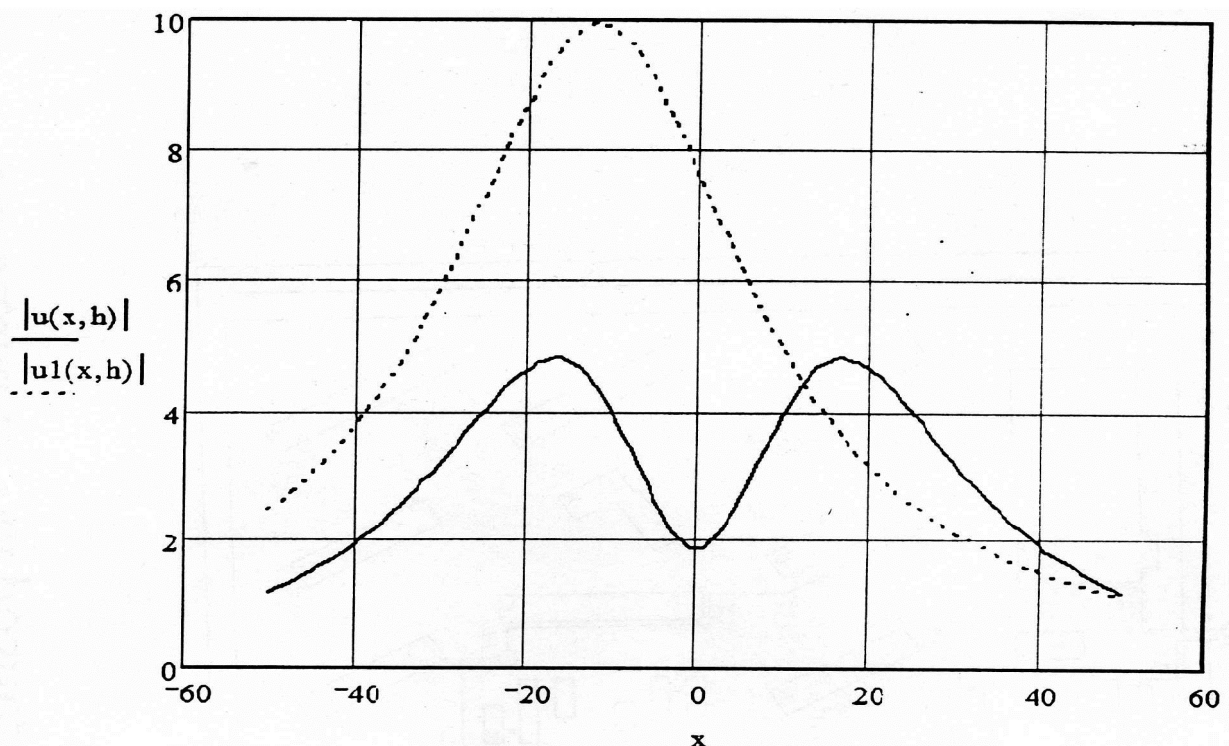


Рисунок 2.4 – Результати розрахунку наведеної напруги при ємнісному впливі повітряної лінії, визначені при переміщенні лінії зв'язку в діапазоні  $x$  від  $-50$  до  $+50$  м від осі повітряної лінії

## 3 РОЗРАХУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПАСИВНИХ ЧАСТОТНИХ ФІЛЬТРІВ

### 3.1 Завдання

Для аналізу заданий тип, порядок і структура пасивного частотного фільтру з визначеними номіналами його елементів і опором генератора  $Z_Q$  і навантаження  $Z_s$  (табл. 3.1).

Склад роботи:

- описати принцип роботи частотних фільтрів та сферу їх використання.
- накреслити задану схему фільтра та позначити на ній номінали елементів.
- розрахувати та побудувати АЧХ фільтра в діапазоні частот 10 Гц – 100 кГц. Масштаб по осі частот – логарифмічний.
- на графіку АЧХ фільтра визначити і указати частоту зрізу та виконайте розрахунок крутизни спаду АЧХ в смузі задавлення.
- визначити частоти, на яких початковий синусоїдальний сигнал буде послаблений фільтром в 100 і 1000 разів.
- розрахувати і побудувати АЧХ при заданій зміні номіналів елементів фільтра – при заданому збільшенні і зменшенні ємності  $C$  або індуктивності  $L$ .
- описати вплив зміни номіналів елементів на характеристики фільтра.

Таблиця 3.1 – Варіанти завдань

Варіанти	Тип фільтра	Порядок/Структура	$Z_Q$ , Ом	$Z_s$ , Ом	$L1$ , мГн	$C1$ , нФ	$L2$ , мГн	$C2$ , нФ	Зміна номіналів
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	ФНЧ	3 / Т	75	75	11,9	4244	11,9	-	0,1* $L1$
2	ФНЧ	3 / Т	100	100	7,96	1592	7,96	-	10* $L1$
3	ФНЧ	3 / П	750	750	-	70,7	79,6	70,7	0,1* $C1$
4	ФНЧ	3 / П	1000	1000	-	39,8	79,6	39,8	10* $C1$
5	ФНЧ	3 / Т	75	75	2,98	1061	2,98	-	0,2* $L2$
6	ФНЧ	3 / Т	100	100	5,3	1061	5,3	-	5* $L2$
7	ФНЧ	3 / П	750	750	-	106,1	119,4	106,1	0,2* $C2$
8	ФНЧ	3 / П	1000	1000	-	159,1	318,3	159,1	5* $C2$
9	ФНЧ	2 / Г	75	75	-	3000	16,9	-	0,25* $C1$
10	ФНЧ	2 / Г	750	750	84,4	150,1	-	-	0,25* $L1$
11	ФВЧ	3 / Т	75	75	-	707,4	1,99	707,4	0,1* $C1$
12	ФВЧ	3 / Т	100	100	-	397,8	1,99	397,8	10* $C1$
13	ФВЧ	3 / П	750	750	23,9	21,2	23,9	-	0,1* $L2$
14	ФВЧ	3 / П	1000	1000	26,5	13,3	26,5	-	10* $L2$
15	ФВЧ	3 / Т	75	75	-	356,7	0,995	353,7	0,2* $C2$
16	ФВЧ	3 / Т	100	100	-	318,3	1,59	318,3	5* $C2$
17	ФВЧ	3 / П	750	750	29,8	26,5	29,8	-	0,2* $L1$
18	ФВЧ	3 / П	1000	1000	53,1	26,5	53,1	-	5* $L1$
19	ФВЧ	2 / Г	75	75	4,22	750,3	-	-	5* $C1$
20	ФВЧ	2 / Г	750	750	-	150	84,4	-	5* $C1$
21	ФНЧ	3 / Т	75	75	15,9	5659	15,9	-	0,1* $L1$

Закінчення таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22	ФНЧ	3 / Т	100	100	31,8	6366	31,8	-	10* L1
23	ФНЧ	3 / П	750	750	-	282,9	318,3	282,9	0,1* C1
24	ФНЧ	3 / П	1000	1000	-	159,1	318,3	159,1	10* C1
25	ФВЧ	3 / Т	75	75	-	1061	2,98	1061	0,1* L2
26	ФВЧ	3 / Т	100	100	-	530,5	2,65	530,5	10* L2
27	ФВЧ	3 / П	750	750	17,1	15,16	17,1	-	0,1* C1
28	ФВЧ	3 / П	1000	1000	26,5	13,3	26,5	-	10* C1
29	ФНЧ	2 / Г	75	75	1,69	300,1	-	-	0,1* L1
30	ФНЧ	2 / Г	750	750	-	37,5	21,1	-	10* L2

### 3.2 Вказівки до виконання роботи

У відповідності до завдання (відомі: структура, порядок і тип фільтра) необхідно скласти принципову схему фільтра та помітити на ній її елементи. Загальне правило при складанні схеми фільтра – в ФНЧ індуктивності ввімкнені послідовно з сигналом ємності – на землю, в ФВЧ – навпаки. Як опір генератора і навантаження використовують активний опір. Порядок розміщення елементів в фільтрові визначений в завданні у вигляді наявності чи відсутності значень номіналів його елементів.

Для аналізу та виконання розрахунків (рис. 3.1) зручно представити фільтр у вигляді чотирьохполюсника  $F$ :

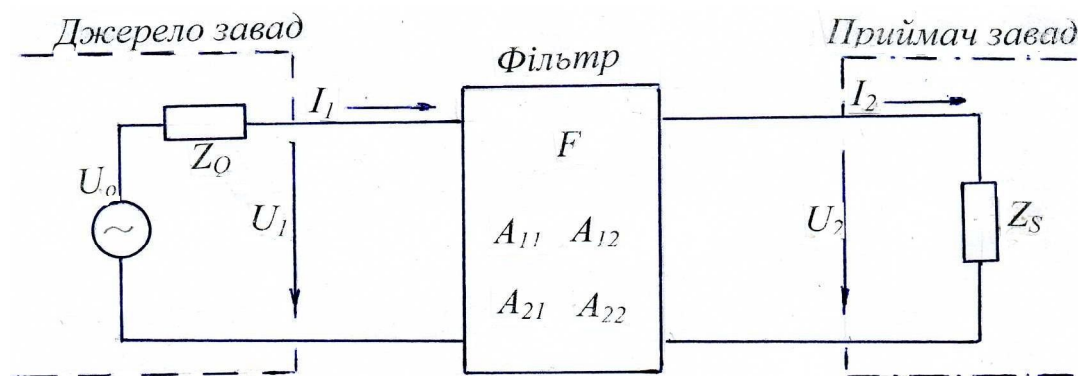


Рисунок 3.1– Еквівалентна схема фільтра

Якщо уявити фільтр у вигляді чотирьохполюсника, то його коефіцієнт пропускання, виражений в дБ розраховують згідно виразу:

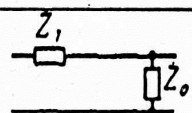
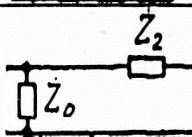
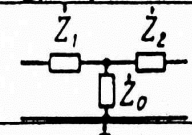
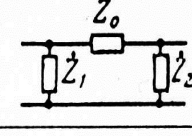
$$a_e = -20 \lg \left| \frac{Z_S}{Z_0 + Z_S} \cdot \dot{A}_{11} + \frac{1}{Z_0 + Z_S} \cdot \dot{A}_{12} + \frac{Z_0 \cdot Z_S}{Z_0 + Z_S} \cdot \dot{A}_{21} + \frac{Z_0}{Z_0 + Z_S} \cdot \dot{A}_{22} \right|, \quad (3.1)$$

де  $Z_0$  – опір джерела (генератора) сигналу;

$Z_S$  – опір навантаження, (\* під логарифмом – модуль комплексного числа).

Параметри чотирьохполюсників, відповідні структура і порядок використаних в роботі фільтрів наведені в таблиці 3.2 :

Таблиця 3.2 – Визначення фільтрів

Структура, порядок	Схема	Коефіцієнт			
		$A_{11}$	$A_{12}$	$A_{21}$	$A_{22}$
Г 2		$1 + Z_1 / Z_0$	$Z_1$	$1 / Z_0$	1
Г 2		1	$Z_2$	$1 / Z_0$	$1 + Z_2 / Z_0$
Т 3		$1 + Z_1 / Z_0$	$Z_1 + Z_2 + \frac{Z_1 Z_2}{Z_0}$	$1 / Z_0$	$1 + Z_2 / Z_0$
П 3		$1 + Z_0 / Z_2$	$Z_0$	$1 / Z_1 + 1 / Z_2 + \frac{Z_0}{Z_1 Z_2}$	$1 + Z_0 / Z_1$

З таблиці 3.1 та відповідній схемі фільтра (табл. 3.2) треба вибрати вирази для коефіцієнтів чотирьохполюсника  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{21}$ ,  $A_{22}$  та підставити їх в формулу (3.1).

В якості комплексних опорів елементів фільтра  $Z_0$ ,  $Z_1$ ,  $Z_2$  приймаємо реактивний опір відповідних схемі елементів – індуктивностей та ємностей:

$$X_L = j\omega L; \quad X_C = 1 / j\omega C; \quad \omega = 2\pi f, \quad (3.2)$$

де  $f$  – частота, Гц.

По отриманому виразу треба виконати розрахунок коефіцієнта пропускання в заданому діапазоні частот. Значення частот для розрахунку:

$$10, 100, 200, 500 \text{ Гц}; 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 \text{ кГц}.$$

По розрахованих значеннях коефіцієнту пропускання побудувати АЧХ фільтра (масштаб по осі частот – логарифмічний), наприклад АЧХ ФНЧ (рис. 3.2).

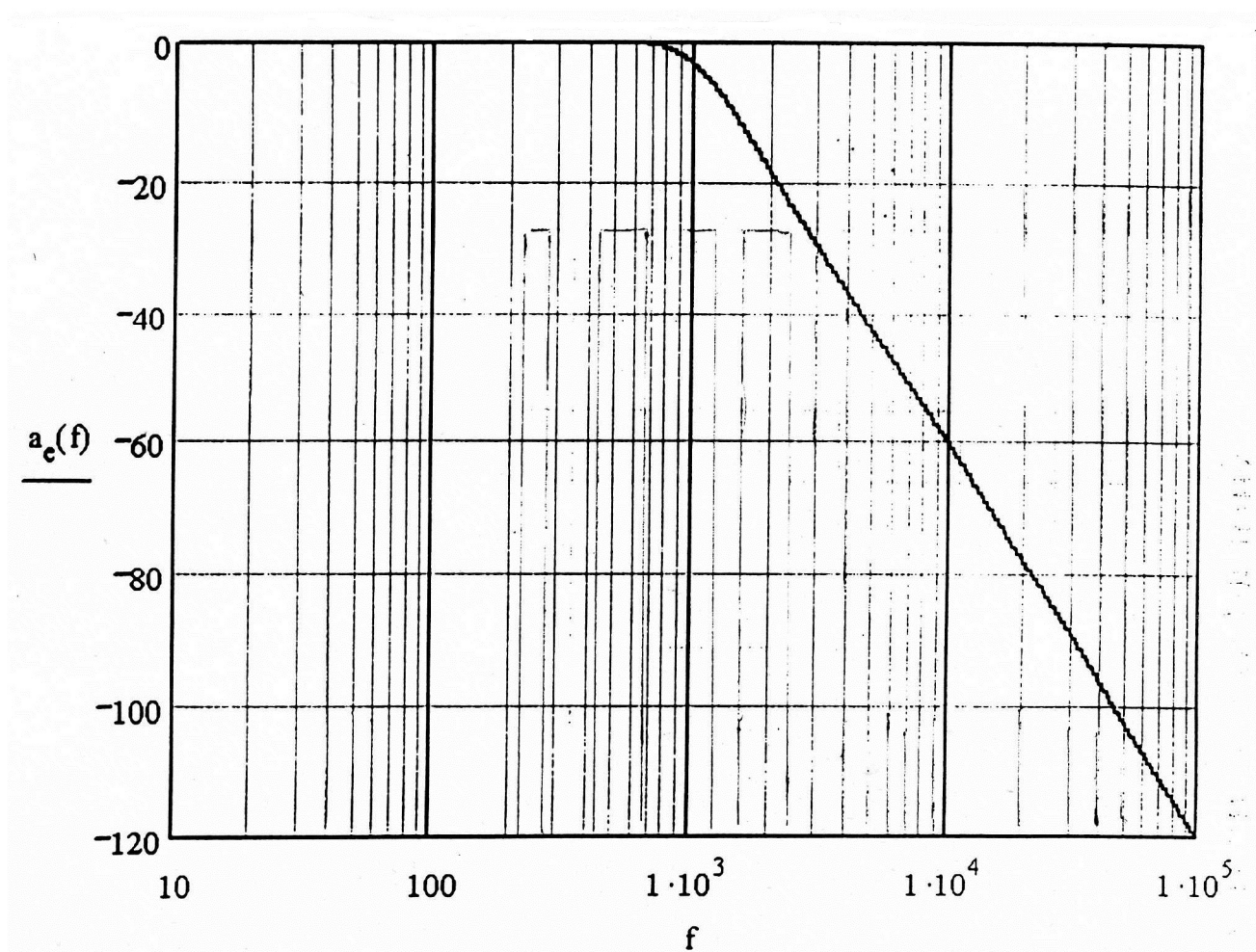
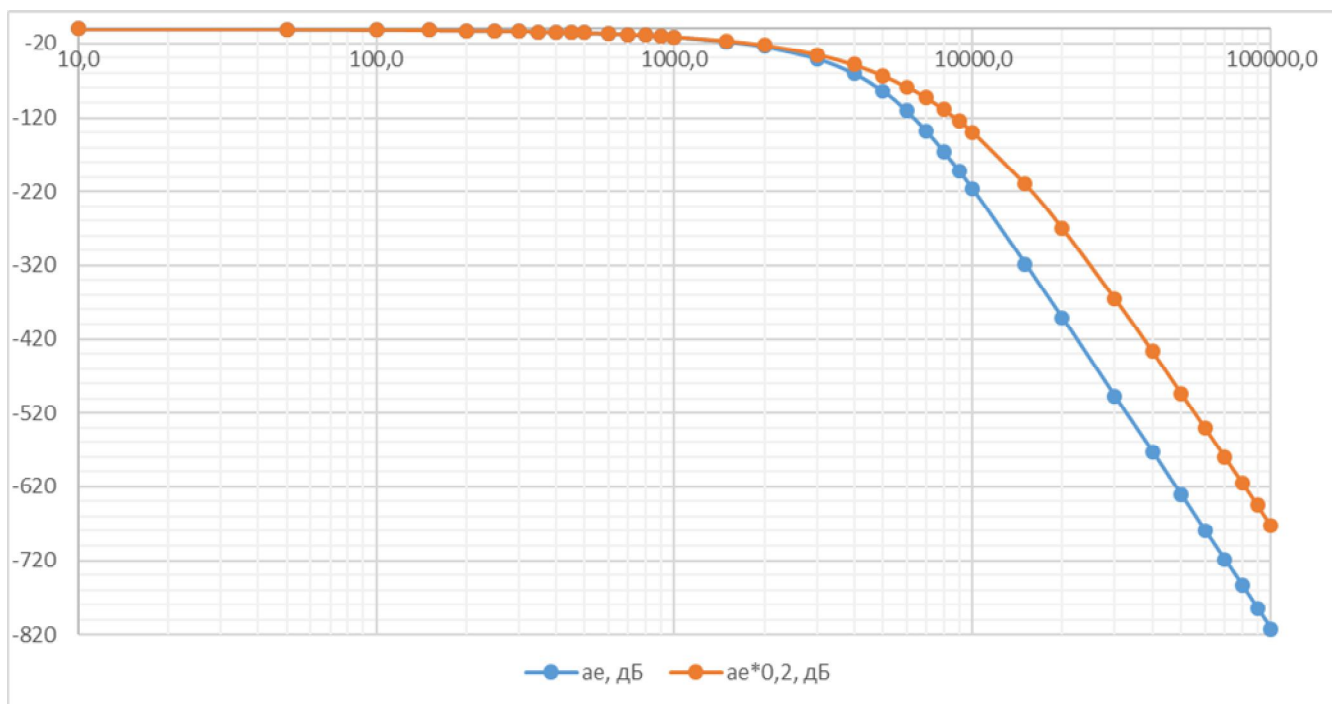


Рисунок 3.2 – Приклад побудови графіку амплітудно-частотної характеристики ФНЧ

На графіку АЧХ відмітити частоту зрізу, яка визначається при відхиленні АЧХ на  $-3$  дБ від максимального значення коефіцієнту пропускання фільтра. Крутизна спаду АЧХ визначається на лінійному відрізку АЧХ в смузі задавлення в децибелах (дБ) при подвійній зміні частоти (одна октава).

Порівняти отриману крутизну спаду АЧХ з порядком фільтра.

Потім аналогічно треба виконати розрахунок АЧХ фільтра при зміні номіналів елементів фільтра – зміні заданої ємності або індуктивності. Отримані результати розрахунку нової АЧХ треба нанести на той графік, де побудована початкова АЧХ та описати відмінності цих АЧХ.

## **4 РОЗРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ НА ПЕРСОНАЛ**

План роботи:

4.1 Розрахунок рівня електростатичного поля.

4.2 Розрахунок рівня електромагнітних полів різних частотних діапазонів:  
– промислової частоти;  
– діапазону частот  $30$  кГц –  $300$  ГГц;  
– імпульсних електромагнітних полів.

4.3 Захист від впливу електромагнітних полів (дод. В–Д).

Інтенсивність електромагнітних полів в мільйон разів перевищує рівень природного магнітного поля і різко відрізняється від нього. Особливо це стосується місць поблизу ЛЕП, радіо- і телестудій, радіостанцій, енергетичних установок, міського електричного транспорту та ін.

В побутових приміщеннях виникнення електромагнітних полів пов'язане із застосуванням електроприладів, відео дисплейних терміналів, сотових телефонів, пейджерів, які випромінюють ЕМП різної частоти, модуляції та інтенсивності. Масштаби електромагнітного забруднення середовища настільки великі, що Всесвітня організація охорони здоров'я (ВОЗ) визнала цю проблему як найбільш актуальною в цьому сторіччі для здоров'я людства.

Встановлено негативний вплив ЕМП на всі органи людського організму, який виявився пропорційний потужності випромінювання та її тривалості. Зокрема під впливом потужних ЕМП у людини виникають порушення ендокринної системи, обмінних процесів, функції головного і спинного мозку, схильність до депресії і самогубству, серечно-судинних та ракових захворювань. Тому визначення параметрів цього впливу на персонал та мешканців – є вкрай актуальним.

## 4.1 Розрахування рівня електростатичного поля

Розрахунок величини впливу поля здійснюється в такій послідовності:

а) розраховують максимально допустимий рівень напруженості електростатичного поля при впливі на персонал більш ніж однієї години протягом зміни за формулою :

$$E_{\text{мдр}} = 60/\sqrt{t} , \quad (4.1)$$

де  $E_{\text{мдр}}$  –максимально допустимий рівень напруженості поля, кВ/м;

$t$  – термін дії, год. (див. Дод. В).

(Максимально допустимий рівень (МДР) напруженості електростатичного поля встановлений – 60 кВ/м протягом 1 години) ;

б) розраховують допустимий термін перебування в ЕСП за формулою

$$t_{\text{доп}} = \left( \frac{60}{E_{\text{факт}}} \right)^2 , \quad (4.2)$$

де  $E_{\text{факт}}$  – фактичне значення напруженості ЕСП, кВ/м (при напруженості ЕСП більшої ніж 60 кВ/м працювати без засобів захисту забороняється; при напруженості менше ніж 20 кВ/м термін перебування не регламентується);

в) згідно дотриманими даними роблять висновок про термін перебування персоналу в ЕСП, зокрема із застосуванням засобів захисту.

## 4.2 Розрахування рівня електромагнітного поля різних частот

Розрахунок рівня електромагнітних полів (ЕМП) різного діапазону частот здійснюється роздільно по напруженості електричного поля ( $E$ , кВ/м) і магнітного поля ( $H$ , А/м) або індукції магнітного поля ( $B$ , мкТл) в діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц по щільності потоку енергії (ЩПЕ), Вт/м<sup>2</sup>) в діапазоні частот 30 кГц – 300 ГГц – по величині енергетичній експозиції.

### 4.2.1 Розрахування електромагнітного поля промислової частоти

Максимально допустимий рівень напруженості ЕП на робочому місці протягом всієї зміни встановлений 5 кВ/м. Оцінка та нормування ЕМП промислової частоти на робочих місцях здійснюється диференційовано відносно терміну перебування в електромагнітному полі.

а) розрахувати допустимий термін перебування персоналу (згідно завдання) в ЕП при напруженості від 5 до 20 кВ/м за формулою

$$T = (50/E) - 2, \quad (4.3)$$

де  $E$  – напруженість електричного поля в контрольній зоні ( $E_1, E_2, E_3$ ), кВ/м;

$T$  –допустимий термін перебування в ЕП при відповідній напруженості, год.



(При напруженості ЕП від 20 до 25 кВ/м допустимий термін перебування дорівнює 10 хв. Перебування в ЕП з напруженістю більш ніж 25 кВ/м без засобів захисту – заборонено!).

б) розрахувати термін перебування персоналу на протязі робочого дня в зоні з різними напруженостями ЕП за формулою

$$T_{np} = 8 \left( \frac{t_{E_1}}{T_{E_1}} + \frac{t_{E_2}}{T_{E_2}} + \frac{t_{E_3}}{T_{E_3}} + \dots + \frac{t_{E_n}}{T_{E_n}} \right), \quad (4.4)$$

де  $T_{np}$  – приведений час, еквівалентний по біологічному ефекту перебуванню в ЕП нижньої границі нормованої напруженості, годин;

$t_{E_1}, t_{E_2}, t_{E_3}, \dots, t_{E_n}$  – термін перебування в контролюючих зонах з напруженостями  $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$ , годин;

$T_{E_1}, T_{E_2}, T_{E_3}, \dots, T_{E_n}$  – допустимий термін перебування для відповідних зон, годин.

(Проведений термін не повинен перевищувати 8 годин).

Різниця в рівнях напруженості ЕП контрольних зон встановлюється на рівні 1 кВ/м.

Ці вимоги дійсні при умові проведення робіт, не пов'язаних з підйомом на висоту, а також при виключенні можливості дії електричних розрядів на персонал і при наявності захисного заземлення конструкцій і частин обладнання, машин і механізмів в зоні впливу ЕП.

#### 4.2.2 Розрахування електромагнітного поля різних частот

Розрахування електромагнітного поля в діапазоні частот 30 кГц – 300 ГГц.

Розрахунок і нормування ЕМП здійснюється по величині енергетичної експозиції (ЕЕ).

Енергетична експозиція ЕМП визначається як помноження квадрата напруженості електричного або магнітного поля на термін їх дії на людину.

а) розрахувати енергетичну експозицію в діапазоні частот 30 кГц – 300 МГц (відповідно завданню) за формулами:

$$\begin{aligned} EE_E &= E^2 T, \\ EE_E &= H^2 T, \end{aligned} \quad (4.5)$$

де  $E$  – напруженість електричного поля, В/м;

$H$  – напруженість магнітного поля, А/м;

$T$  – термін дії на робочому місці, годин.

б) розрахувати енергетичну експозицію по щільності потоку енергії в діапазоні частот 300 МГц – 300 ГГц за формулою

$$EE_{\text{ЩПЕ}} = \text{ЩПЕ} \cdot T, \quad (4.6)$$

де  $\text{ЩПЕ}$  – щільність потоку енергії (мкВт/см<sup>2</sup>).



Гранично допустимі рівні енергетичних експозицій ( $EE_{ГДР}$ ) на робочих місцях персоналу за зміну наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Гранично-допустимий рівень енергетичних експозицій електромагнітного поля діапазону частот 30 кГц – 300 ГГц

Параметр	ЕЕ <sub>ГДР</sub> в діапазоні частот, МГц				
	0,03 – 3,0	3,0 – 30,0	30,0 – 50,0	50,0 – 300	300–300 000,0
$EE_E, (В/м)^2 \cdot год.$	20 000	7 000	800	800	–
$EE_H, (А/м)^2 \cdot год.$	200	–	0,72	–	–
$EE_{ЩПЕ}, мкВ/см^2$	–	–	–	–	200

Максимально допустимі рівні напруженості електричного і магнітного полів, щільності потоку енергії ЕМП не повинні перевищувати величин з таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Максимальні граничнодопустимі рівні напруженості і щільності потоку енергії електромагнітного поля діапазону частот 30 кГц –300 ГГц

Параметр	ЕЕ <sub>ГДР</sub> в діапазоні частот, МГц				
	0,03 – 3,0	3,0 – 30,0	30,0 – 50,0	50,0 – 300	300 – 300000,0
$E, (В/м)^2$	500	295	80	80	–
$H, (А/м)^2$	50	–	3,0	–	–
$ЩПЕ, мкВ/см^2$	–	–	–	–	1000 (5000□)

\*Для умови локального опромінення кистей рук

Гранично допустимі рівні ЕМП діапазону частот 30 кГц —300 ГГц для населення відображені в таблиці 4.3.

в) розрахувати гранично допустимий рівень ЕПМ для засобів зв'язку і телевізійної трансляції за формулою

$$E_{ГДР} = 21 \cdot f^{0,37} \quad (4.7)$$

де  $E_{ГДР}$  – величина гранично допустимого рівня напруженості електричного поля, В/м;

$f$  – частота, МГц.

г) розрахувати гранично допустимий рівень щільності потоку енергії (ЩПЕ) при локальному опроміненні кистей рук при роботі з мікрополосовими приладами за формулою

$$\text{ЩПЕ}_{\text{ГДР}} = \frac{K \cdot EE_{\text{ППЕ}_{\text{ГДР}}}}{T}, \quad (4.8)$$

де  $EE_{\text{ЩПЕ}_{\text{ГДР}}}$  – гранично допустимий рівень енергетичної експозиції потоку енергії, що дорівнює  $200 \text{ мкВт/см}^2$  (табл.4.2);

$T$  – термін перебування в зоні опромінення за робочий день (робочу зміну), годин.

Таблиця 4.3 – Гранично допустимі рівні електромагнітного поля діапазону частот 30 кГц – 300 ГГц для населення

Діапазон частот	30 – 300 кГц	0,3 – 3 МГц	3 – 30 МГц	30 – 300 МГц	0,3 – 300 ГГц
Нормований параметр	Напруженість електричного поля $E$ , В/м				Щільність потоку енергії, $\text{мкВт/см}^2$
Гранично допустимий рівень	25	15	10	3*	1000 2500**

\*окрім приладів радіо- та телевізійного мовлення (діапазон  $48.5 \div 108 \text{ МГц}$ ;  $174 \div 230 \text{ МГц}$ ).

\*\* - у випадку опромінення від антен кругового обзору або сканування.

В усіх випадках максимальна величина  $\text{ЩПЕ}_{\text{ГДР}}$  не повинна перевищувати  $50 \text{ Вт/м}^2$  ( $5000 \text{ мкВт/см}^2$ ).

д) розрахувати гранично допустиму щільність потоку енергії (ЩПЕ) при опроміненні персоналу від антен, які працюють в режимі кругового обзору або скануванні з частотою не більше 1 кГц і скважністю не менш, ніж 20 за формулою

$$\text{ЩПЕ}_{\text{ГДР}} = K \frac{EE_{\text{ППЕ}_{\text{ГДР}}}}{T}, \quad (4.9)$$

де  $K$  – коефіцієнт послаблення біологічної активності переривчастих дій, рівний 10.

Щільність потоку енергії не повинна перевищувати для діапазону частот 300 МГц – 300 ГГц –  $10 \text{ Вт/м}^2$  ( $1000 \text{ мкВт/см}^2$ ).

е) розрахувати гранично допустиме значення інтенсивності ЕМВ в діапазоні частот 60 кГц – 300 МГц ( $E_{\text{ГДР}}$ ,  $H_{\text{ГДР}}$ ,  $\text{ЩПЕ}_{\text{ГДР}}$ ) в залежності від терміну впливу на протязі робочого дня (робочої зміни):

$$E_{\text{ГДР}} = \left( \frac{EE_{E_{\text{edy}}}}{T} \right)^2, \quad (4.10)$$

$$H_{ГДР} = \left( \frac{EE_{H_{ГДУ}}}{T} \right)^2, \quad (4.11)$$

$$\text{ЩПЕ}_{ГДР} = \frac{EE_{\text{ППЕ}_{ГДУ}}}{T}, \quad (4.12)$$

де  $E_{ГДР}$ ,  $H_{ГДР}$ ,  $\text{ЩПЕ}_{ГДР}$  – гранично допустимі рівні напруженості електричного, магнітного поля та щільності потоку енергії;

$EE_{E_{\text{ГДР}}}$ ,  $EE_{H_{\text{ГДР}}}$ ,  $EE_{\text{ЩПЕ}_{\text{ГДР}}}$  – гранично допустимі рівні енергетичної експозиції на протязі робочого дня (робочої зміни), наведені в табл. 4.1–4.3.

Величини гранично допустимого рівня напруженості електричної ( $E_{ГДР}$ ), магнітної ( $H_{ГДР}$ ) складових і щільності потоку енергії ( $\text{ЩПЕ}_{ГДР}$ ) – в залежності від тривалості дії ЕМІ радіочастот, наведені в таблицях 4.4–4.5.

ГДР напруженості електричного і магнітного поля діапазону частот 10–30 кГц при дії на протязі всього робочого дня (робочої зміни) складає 500 В/м і 50 А/м, а при роботі до двох годин за зміну – 1000 В/м і 100 А/м, відповідно.

В діапазонах частот 30 кГц – 3 МГц і 30 – 50 МГц враховується  $EE$ , яка створюється як електричними ( $EE_E$ ), так і магнітними ( $EE_H$ ) полями:

$$\frac{EE_E}{EE_{E_{ГДУ}}} + \frac{EE_H}{EE_{H_{ГДУ}}} \leq 1. \quad (4.13)$$

При опроміненні від декількох джерел ЕМП, функціонуючих в частотних діапазонах, для яких встановлені різні ГДУ, повинні виконуватись наступні умови:

$$\frac{EE_{E_1}}{EE_{E_{ГДУ1}}} + \frac{EE_{E_2}}{EE_{E_{ГДУ2}}} + \dots + \frac{EE_{E_m}}{EE_{E_{ГДУ}}} \leq 1. \quad (4.14)$$

При одночасному або послідовному опроміненні персоналу від джерел, які працюють в безперервному режимі та від антен, що працюють в режимі кругового обзору і сканування, сумарна  $EE$  розраховується за формулою

$$EE_{\text{ППЕ}_{\text{сум}}} = EE_{\text{ППН}} + EE_{\text{ППЕ}_{\text{пр}}}, \quad (4.15)$$

де  $EE_{\text{ППЕ}_{\text{сум}}}$  – сумарна  $EE$ , яка не повинна перевищувати 200 мкВт/см<sup>2</sup>год;

$EE_{\text{ППН}}$  – створювана безперервним випромінюванням;

$EE_{\text{ППЕ}_{\text{пр}}}$  – створювана переривистим випромінюванням обертаючих або скануючих антен, яка дорівнює  $0,1 \cdot \text{ППЕ}_{\text{пр}} \cdot T_{\text{пр}}$ .

Таблиця 4.4 – Гранично допустимі рівні напруженості електричної і магнітної складових в діапазоні частот 30 кГц–300 МГц, в залежності від тривалості впливу

Тривалість впливу $T$ , годин	$E_{\text{ГДР}}$ , В/м			$H_{\text{ГДР}}$ , А/м	
	0,03-3 МГц	3- 30 МГц	30-300МГц	0,03-3 МГц	30-50 МГц
8,0 і більш.	50	30	10	5,0	0,30
7,5	52	31	10	5,0	0,31
7	53	32	11	5,3	0,32
6,5	55	33	11	5,5	0,33
6,0	58	34	12	5,8	0,34
5,5	60	36	12	6,0	0,36
5,0	63	37	13	6,3	0,38
4,5	67	39	13	6,7	0,40
4,0	71	42	14	7,1	0,42
3,5	76	45	15	7,6	0,45
3,0	82	48	16	8,2	0,49
2,5	89	52	18	8,9	0,54
2,0	100	59	20	9,0	0,60
1,5	115	68	23	1,5	0,69
1	141	84	28	14,2	0,85
0,5	200	118	40	20,0	1,20
0,25	283	168	57	28,3	1,70
0,125	400	236	80	40,0	2,40
0,08 <1*	500	296	80	50,0	3,00

\*При тривалості дії менше за 0,08 години, подальше підвищення інтенсивності не припустиме!

Таблиця 4.5 – Гранично допустимі рівні щільності потоку енергії в діапазоні частот 300 МГц–300 ГГц в залежності від тривалості впливу опромінення

Тривалість впливу $T$ , годин	$\Gamma \Sigma E_{\text{ГДР}}$ , мкВт/см <sup>2</sup>
1	2
8,0 і більше	25
7,5	27
7,0	29
6,5	31
6,0	33
5,5	36
5,0	40
4,5	44
4,0	50

Закінчення таблиці 4.5

1	2
3,5	57
3,0	67
2,5	80
2,0	100
1,5	133
1,0	200
0,5	400
0,25	800
0,2 і менше	1000

\* При тривалості впливу менше 0,2 годин подальше підвищення інтенсивності дії не допускається !

### 4.3 Оцінювання впливу імпульсних електромагнітних полів

Визначити амплітудно-часові параметри джерела імпульсного електромагнітного поля (ІЕМП) радіотехнічного об'єкта (РТО) по побудованому графічному відображенню імпульсу по даним варіанта (дод. В).

Основними параметрами при оцінці впливу ІЕМП на персонал РТО є максимальне амплітудне значення напруженості електричного поля в імпульсі ( $E_{\text{макс}}$ ) і загальне число електромагнітних імпульсів ( $N$ ) на протязі робочого дня.

Параметрами, які характеризують електромагнітний імпульс є:

- тривалість фронту ( $t_{\text{фр}}$ , нс);
- тривалість імпульсу ( $t_{\text{имп}}$ , нс).

Визначення амплітудно-часових параметрів ІЕМП проводиться по результатам проведених вимірювань, побудови і наступного аналізу графічного зображення імпульсу в наступній послідовності (на прикладі осцилограми, рис. 4.1 і 4.2).

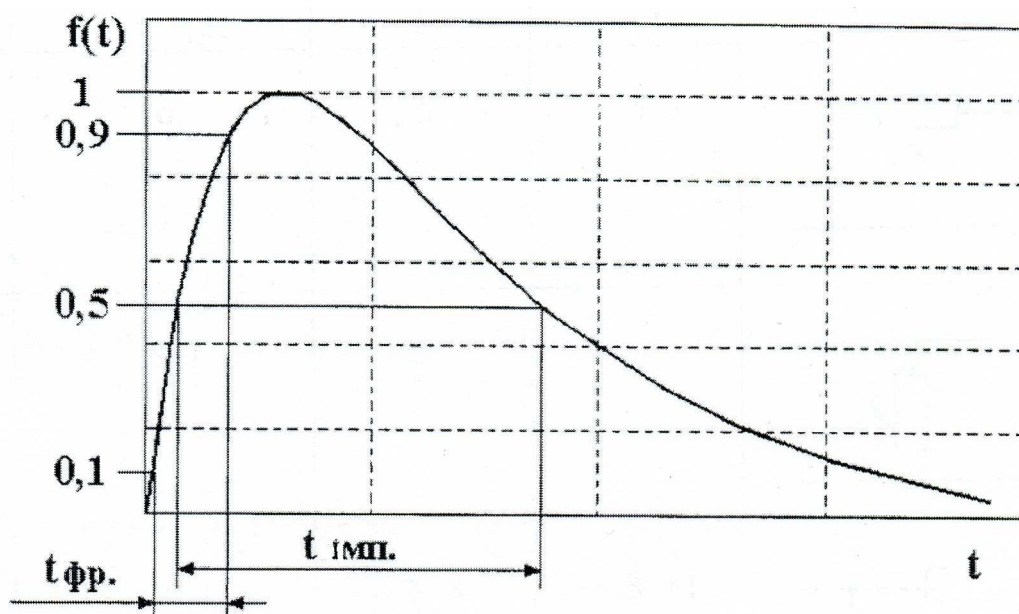


Рисунок 4.1 – Функція зміни напруженості складових ІЕМП в часі

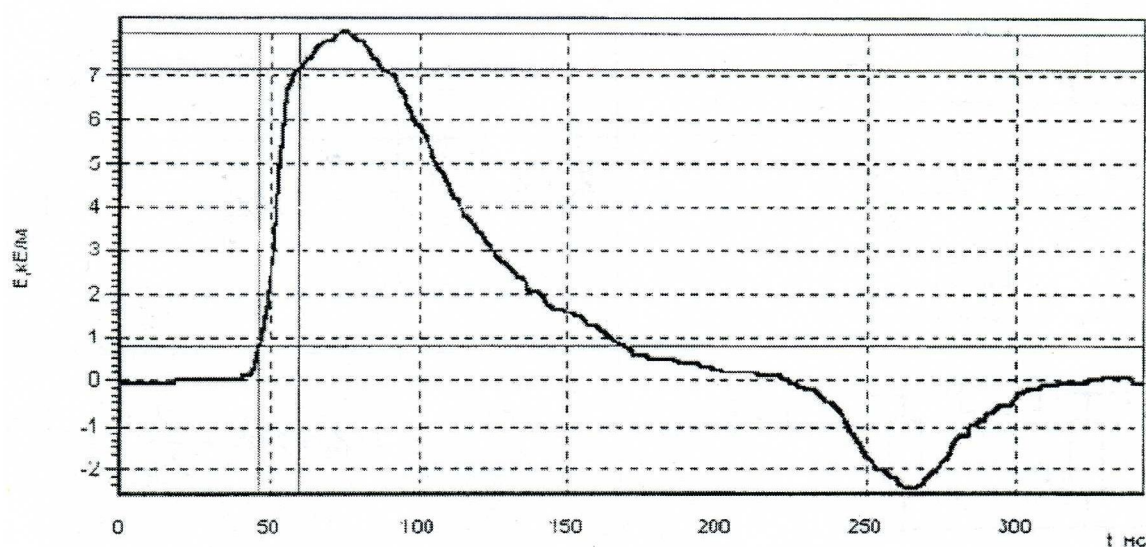


Рисунок 4.2 – Осцилограма напруженості електричної складової ІЕМП

а) на осцилограмі (рис. 4.1) виділіть пік з найбільшим значенням напруженості ІЕМП, по якому визначити основні нормуємі і контролюємі параметри ІЕМП:

- $E_{\max}$  – максимальне амплітудне значення інтенсивності, кВ/м;
- $t_{фр}$  – тривалість фронту імпульсу, яка дорівнює інтервалу часу між першим досягненням значенням напруженості електричного (магнітного) складових ІЕМП рівня 10 % і 90 % максимального амплітудного значення, нс;

–  $t_{\text{имп}}$  – тривалість імпульсу, яка визначається як інтервал часу між першим досягненням значення напруженості електричної (магнітної) складової ІЕМП рівня 50 % амплітуди і моментом часу, після якого величина напруженості електричної (магнітної) складової ІЕМП становить менше 50 % максимального амплітудного значення, нс.

б) значення напруженості електричної складової ЕМП в діапазоні часу вимірювання –  $E(t)$  визначить із співвідношення

$$E(t) = E_{\text{max}} \cdot f(t), \quad (4.16)$$

де  $E_{\text{max}}$  – амплітудне значення електричної складової електромагнітного поля, кВ/м;

$f(t)$  – функція зміни напруженості ЕМП в часі, яка складає для 10 %, 50 %, 90 % максимального амплітудного значення – 0,1, 0,5, 0,9 відповідно (рис. 4.2).

в) у випадку проведення контролю інтенсивності ІЕМП по напруженості магнітної складової для подальшої оцінки електромагнітної обстановки на відповідність ГДР ІЕМП – проведіть перерахунок отриманих величин напруженості електричної складової ІЕМП за формулою

$$E(t) = R \cdot H(t), \quad (4.17)$$

де  $E(t)$  – функція напруженості електричної складової ІЕМП від часу ( $t$ ), В/м;

$H(t)$  – функція напруженості магнітної складової ІЕМП від часу ( $t$ ), А/м;

$R$  – хвильовий опір вільного простору, який приймаємо рівним 377 Ом.

г) допустима загальна кількість електромагнітних імпульсів ( $N$ ), які впливають на персонал на протязі усього робочого дня (робочій зміни) з амплітудою напруженості ( $E$ ) меншою за  $E_{\text{ГДР}}$ , розраховують за формулою

$$N = 25 \frac{E_{\text{ГДР}}}{E}, \quad (4.18)$$

де  $E_{\text{ГДР}}$  – гранично допустимі рівні напруженості електричної складової ІЕМП, кВ/м;

$E$  – напруженість електричної складової ІЕМП, кВ/м.

При одночасному опромінюванні від декількох джерел ІЕМП зберігається обмеження по загальній кількості імпульсів, що діють на персонал на протязі усього робочого дня (робочої зміни).

#### **4.4 Визначення амплітудно-часових параметрів імпульсного електромагнітного поля**

Амплітудно-часові параметри імпульсного електромагнітного поля визначаємо за рисунком 4.2.

а) перший пік на осцилограмі має амплітуду  $E_{\max} = 8$  кВ/м, другий  $= 2,3$  кВ/м, отже, визначати параметри необхідно по першому позитивному піку:

$$E_{\max} = 8 \text{ кВ/м}; \quad t_{\phi p} = 13 \text{ нс}; \quad t_{\text{имп}} = 62 \text{ нс}.$$

б) враховуючи категорії опромінюваного компоненту (персонал РТО ІЕМП) величину ГДР ІЕМП необхідно визначити по даним (дод. Г), а якщо персонал РТО ІЕМП не пов'язаний із джерелами ІЕПМ – то по додатку Д.

в) виходячи з встановлених тривалості фронту та імпульсу ІЕМП, вибирають відповідні строчки і стовпчики в додатку Г із значеннями ГДР. В даному прикладі  $E_{\text{гдр}} = 2,8$  кВ/м. Реальні значення  $E_{\max}$  складають 8 кВ/м, що значно перевищує ГДР.

г) висновок. Електромагнітна обстановка на даному робочому місці персоналу РТО ІЕМП (не?) відповідає вимогам санітарних правил, тому для зниження амплітудного значення напруженості ІЕМП до ГДР необхідно здійснити комплекс наступних технічних і організаційних дій.

Захист від випромінювання електромагнітних полів регламентується рядом Міжнародних і національних нормативних документів (ДержСт, САНПіНи, СН та ін.).

Основний спосіб захисту населення від випромінювання ЕМП ЛЕП – це створення охоронних зон шириною від 15 до 30 м в залежності від напруги ліній електропередач. На відкритій місцевості застосовують тросові екрани, залізобетонні забори, дерева висотою більш 2 м.

Організаційні заходи:

- вибір раціонального режиму роботи обладнання;
- розташування робочих місць персоналу на відстанях, з допустимим ГДР;
- позначення зон дії ЕМВ, яке перевищує ГДР напруженості полів;
- організація системи оповіщення про роботу ІЕМП;
- розробка інструкції з безпеки при роботі з джерелом випромінювання;
- організація дистанційного управління джерелом ЕМВ;
- використання засобів колективного та індивідуального захисту;
- персонал повинен проходити періодичний контроль згідно вимог СК;
- персонал допускають до роботи при інтенсивності ЕМВ за норми.

#### **4.5 Заходи захисту від впливу електромагнітних полів**

Захист від випромінювання електромагнітних полів регламентується рядом Міжнародних і національних нормативних документів (ДержСт, САНПіНи, СН та ін.).

Основний спосіб захисту населення від випромінювання ЕМП ЛЕП – це створення охоронних зон шириною від 15 до 30 м в залежності від напруги ліній електропередач. На відкритій місцевості застосовують тросові екрани, залізобетонні забори, дерева висотою більш 2 м.



Організаційні заходи:

- вибір раціонального режиму роботи обладнання;
- розташування робочих місць персоналу на відстанях, з допустимим ГДР;
- позначення зон дії ЕМВ, яке перевищує ГДР напруженості полів;
- організація системи оповіщення про роботу ІЕМП;
- розробка інструкції з безпеки при роботі з джерелом випромінення;
- організація дистанційного управління джерелом ЕМВ;
- використання засобів колективного та індивідуального захисту;
- персонал повинен проходити періодичний контроль згідно вимог СК;
- персонал допускають до роботи при інтенсивності ЕМВ за норми.

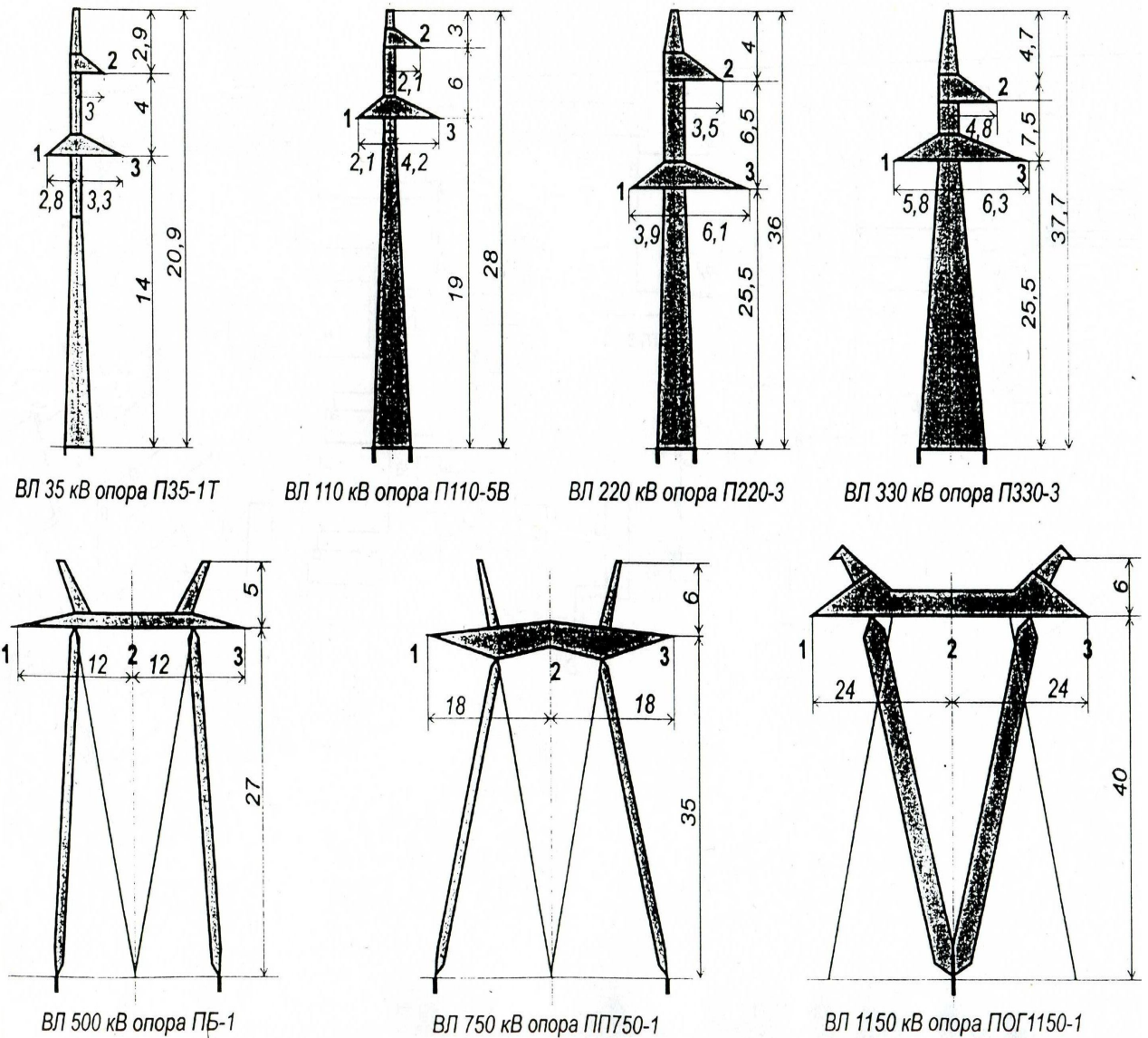
## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Харлов Н. Н. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике: Учебное пособие. / Н. Н. Харлов. – Томск : Изд-во ТПУ, 2007. – 207 с.
2. Нестеров С. В. Методические указания по выполнению расчетно-графической работы по курсу «Электромагнитная совместимость в электроэнергетике» / С. В. Нестеров. – Новосибирск : НГТУ, 2011. – 202 с.
3. Шваб А. Электромагнитная совместимость: пер. с нем. /В. Д. Мазина, С. А. Спектора / А. Шваб. [2-е изд., перераб и доп.] / под. ред. И. П. Кужекина М. : Энергоатомиздат, 1998. – 480 с.
4. Хабигер Э. Электромагнитная совместимость. Основы обеспечения её в технике: Э. Хабигер. пер. с нем. / И. П. Кужекин / [под. ред. Б. К. Макимова].– М. : Энергоатомиздат, 1995.– 304 с.
5. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. Учебное пособие. / И. В. Жежеленко. – М. : Энергоатомиздат 1994. – 360 с.
6. Рой В. Ф. Конспект лекцій з дисципліни «Електромагнітна сумісність в системах електроспоживання» / В. Ф. Рой. – Харків : ХНУГМ ім. О. М. Бекетова, 2018.– 116 с.

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А

Рисунок А.1– Габарити проміжних опір ПЛ 35 – 1150 кВ



Габарити проміжних опор ВЛ 35÷1150 кВ

### ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Довжина гірлянди ізоляторів ПЛ

$U_{\text{ном}}, \text{кВ}$	35	110	220	330	500	750	1150
Довжина гірлянди, м	0,6	1,55	2,4	3,2	4,4	6,2	9,0

# ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Вихідні дані для розрахунків

Варіант	Час дії, ч	$E_{\text{факт.}}$ , кВ/м	$E_1$ , кВ/м	$E_2$ , кВ/м	$E_3$ , кВ/м	$t_{E1}$ , ч	$t_{E2}$ , ч	$t_{E3}$ , ч	$E$ , В/м	$H$ , А/м	ППЭ Вт/м <sup>2</sup>	$f$ , МГц	$\Sigma \Sigma_{\text{Епду}}$ , (В/м) <sup>2</sup> ч	$\Sigma \Sigma_{\text{Нпду}}$ , (А/м) <sup>2</sup> ч	$E_{\text{макс}}$ , КВ/м	$t_{\text{фр}}$ , нс	$t_{\text{имп}}$ , нс
1	8	60	5	6	7	1,5	1,3	2,2	0,5	0,1	1	50	20 000	200	1,0	8	20
2	7,5	50	8	9	10	0,9	0,7	0,5	1	0,2	2	60	7 000	0,72	1,5	12	35
3	7	40	11	12	13	0,8	0,6	1,7	1,5	0,3	3	70	800	200	2,0	15	55
4	6,5	30	14	15	16	1,6	0,8	1,2	2	0,4	4	80	800	0,72	2,5	18	90
5	6	20	17	18	19	1,0	0,9	0,6	2,5	0,5	5	90	7 000	200	3,0	21	105
6	5,5	25	20	10	18	0,2	0,5	0,8	3	0,6	6	100	20 000	0,72	3,5	24	115
7	5	35	11	12	13	0,8	1,7	1,0	4	0,15	7	175	20 000	200	4,0	13	120
8	4,5	45	12	13	14	0,6	1,6	1,2	4,5	0,25	8	180	7 000	0,72	4,5	17	125
9	4	55	15	16	17	1,5	2,2	0,7	3,5	0,35	9	182	800	200	5,0	20	180
10	3,5	60	18	19	20	0,8	1,7	0,9	4,5	0,45	10	184	800	0,72	5,5	14	190
11	3	50	19	18	17	1,3	0,9	0,5	5	0,55	9,5	186	7 000	200	6,0	10	45
12	2,5	40	16	15	14	1,2	1,0	0,7	5,5	0,2	8,5	188	20 000	0,72	6,5	16	70
13	2	30	13	12	11	0,5	1,4	0,8	4,5	0,3	7,5	190	20 000	200	7,0	15	150
14	1,5	20	10	9	8	0,6	0,8	1,3	4	0,4	6,5	192	7 000	0,72	7,5	16	70
15	3	25	7	6	5	1,7	1,6	0,8	3	0,5	5,5	194	800	200	8,0	18	85
16	2,5	35	4	5	6	1,2	1,0	0,9	3,5	0,6	4,5	196	800	0,72	8,5	12	75
17	1,5	45	7	8	9	0,3	0,2	0,5	2	0,1	3,5	198	7 000	200	9,0	14	95
18	2	55	10	11	12	0,7	0,9	2,1	2,5	0,15	2,5	200	20 000	0,72	9,5	19	110
19	3	60	13	14	15	1,3	1,5	0,8	1,5	0,2	1,5	202	20 000	200	10,0	12	40
20	3,5	50	16	17	18	0,9	0,3	0,2	5	0,25	2	205	7 000	0,72	10,5	13	75
21	4	40	19	18	17	2,2	0,8	1,7	5,5	0,3	3	210	800	200	11,0	14	65
22	5	30	16	15	14	1,6	1,2	0,9	4,5	0,35	4	215	800	0,72	11,5	15	85
23	6	20	13	12	11	0,6	1,7	0,8	3,5	0,4	5	220	7 000	200	12,0	16	90
24	6,5	25	10	9	8	1,5	2,4	1,2	3	0,45	6	225	20 000	0,72	12,5	22	120
25	7	35	7	6	5	1,7	0,9	0,5	2,5	0,5	7	230	7 000	200	13,0	28	150

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Графічно-допустимі рівні напруженості електричної складової ІЕМП (кВ/м) персоналу РТО ІЕМП не пов'язаного з джерелами ІЕМП в залежності від часових параметрів електромагнітних імпульсів

		Тривалість фронту $t_{\text{фр}}$ , нс																		
		0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0
Тривалість імпульсу $t_{\text{імп}}$ , нс	1	3,9	3,7	3,3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2	3,3	3,2	3,0	2,9	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3	3,0	2,9	2,8	2,6	2,1	2,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	5	2,7	2,7	2,6	2,5	2,1	2,1	2,4	2,4	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	8	2,6	2,5	2,4	2,3	2,1	2,1	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	–	–	–	–	–	–	–	–
	10	2,5	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	–	–	–	–	–	–
	15	2,3	2,3	2,2	2,2	2,1	2,1	2,3	2,4	2,5	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	–	–	–	–	–
	20	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,3	2,4	2,4	2,5	2,6	2,7	2,7	2,9	3,4	–	–	–	–
	50	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,6	2,7	2,8	3,3	3,7	4,5	5,0	–
	100	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	3,3	3,7	4,3	4,8	7,0
	200	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,7	2,8	3,3	3,7	4,2	4,6	4,9
	400	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,7	2,8	3,3	3,7	4,2	4,5	4,8
	500	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,5	2,5	2,7	2,8	3,3	3,7	4,1	4,4	4,7
	1000	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,7	2,8	3,3	3,6	4,0	4,3	4,6

# ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Графічно-допустимі рівні напруженості електричної складової ІЕМП (кВ/м) для персоналу РТО ІЕМП не пов’язаного з джерелами ІЕМП в залежності від часових параметрів електромагнітних імпульсів

		Тривалість фронту $t_{\text{фр}}$ , нс																		
		0,1	0,2	0,5	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0
Тривалість імпульсу $t_{\text{імп}}$ , нс	1	1,3	1,2	1,1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	2	1,1	1,1	1,0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	3	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	0,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	5	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	–	–	–	–	–	–	–	–
	10	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	–	–	–	–	–	–
	15	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	–	–	–	–	–
	20	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	–	–	–	–
	50	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	1,1	1,2	1,5	1,7	–
	100	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,9	1,1	1,2	1,4	1,6	2,3
	200	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
	400	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
	500	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
	1000	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації та завдання

до виконання розрахунково-графічної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ В СИСТЕМАХ  
ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ»**

*(для студентів 5 курсу денної та 6 курсу заочної форм навчання  
магістерської програми зі спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладач **РОЙ** Віктор Федорович

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2018, поз. 262 М

---

Підп. до друку 20.02.2018 Формат 60 × 84/16.  
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,4  
Тираж 50 пр. Зам. №

Виконавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи :  
ДК 5328 від 11.04.2017.