

Розглянуто

цикловою комісією ІСЗІ
Л.О.Харлай
«_22_»_вересня_2023р.

Затверджено

заступник директора з УВР
О.Ю.Коновалов
«_22_»_вересня_2024р.

Лабораторія: Волоконно-оптичні лінії зв'язку
Предмет: Лінії передавання

Практична робота № 1

Параметри направляючих систем

Електричні характеристики симетричних ліній передачі
Симетричні лінії передавання

Розробив викладач:
В.М.Бобарчук

Параметри направляючих систем

Симметричні лінії передавання

Електричні характеристики ліній зв'язку

Параметри передачі направляючих систем на основі мідних провідників.

Норми основних параметрів лінійних ланцюгів.

Практична робота №1

1. Назва практичної роботи № 1:

Розрахунок електричних характеристик направляючих систем передачі.

2. Мета роботи:

Розрахувати електричні параметри симметричних кабелів зв'язку

3. Зміст звіту

1. Назва практичної роботи
2. Висновки по роботі
3. Використовуючи методичний матеріал зробити розрахунки первинних та вторинних параметрів на вказаній частоті, згідно варіанту:

Для симметричних кабелів

варіант	кГц	Марка кабелю	ϵ_e	$\text{tg}\delta \cdot 10^{-4}$	R_m^{200}
1	100	МКСГ-1*4*1,2	1,2	7	22
2	250	ЗКПАШ _П -1*4*1,2	2,1	8	8,1
3	150	МКСА Ш _П -4*4*1,2	1,3	9	12,7
4	550	МКСК-4*4*1,2	1,9	20	21,5
5	250	КСПЗП-1*4*1,2	1,9	8	8,1
6	100	ЗКПАШ _П -1*4*1,2	1,9	8	8,1
7	250	МКСА Ш _П -4*4*1,2	1,3	12	12,7
8	100	КСПЗП-1*4*1,2	2,0	6	8,1
9	200	МКСБ-1*4*1,2	1,2	10	22
10	500	МКСА Ш _П -4*4*1,2	1,2	18	12

4. Контрольні запитання:

1. Вкажіть як змінюються параметри передачі при змінюванні частоти струму, від які причини впливають на ці зміни?
2. За рахунок яких явищ виконується перерозподіл електромагнітного поля та як змінюються параметри ланцюга?
3. Дати визначення та пояснити явище «Поверхневого ефекту».

Теоретичні відомості

Основними характеристиками, що визначають величину струму та напруги у будь-якому місці ланцюга є чотири первинних параметри:

Первинні параметри

- опір провідників, R
- ємність,
- індуктивність
- провідність ізоляції,

Всі показники віднесені до довжини ланцюга в один кілометр.

Другорядні параметри

- коефіцієнт загасання,
- коефіцієнт фази (коефіцієнт розповсюдження),
- хвильовий опір
- швидкість розповсюдження.

Всі показники віднесені до довжини ланцюга в один кілометр.

Первинні параметри

1. Активний опір- це повний активний опір, який долає змінний струм , проходячи по ланцюгу кабелю. Визначається в омметрах двохпровідного ланцюга довжиною 1 км на частоті до 5000 Гц:

Активний опір складається:

$$R=R_0+R_{п.е.}+R_{е.б.}+R_m,$$

$$R=R_0+R_{\sim}$$

$$R_{\sim}=R_{п.е.}+R_{е.б.}+R_m,$$

R_0 -опір ланцюга постійного струму

$R_{\sim}$ -додатковий опір

$$R_0=\rho=\rho \frac{l}{\pi * d^2} \text{ ом/км.}$$

- ρ - питомий опір ом*мм²/м; для міді 00175. алюмінія 0.0291
- d- діаметр провідника мм.
- l-довжина проводу км
- s- переріз провода мм²
 - $S=(3,14*D^2)/4$ або $S=0,785*D^2$
 - Де, S= площа перерізу жили в кабелі (мм²)

- D^2 - діаметр жили кабеля (мм)

$R_{\sim}$ - додатковий опір, який визначає втрати енергії, що передається по кабельному ланцюгу для змінного струму

$R_{п.е.}$ - опір за рахунок поверхневого ефекта

0,0942 ом для міді 0,27 ом для алюмінія

$R_{бл}$ - опір за рахунок ефекта близькості

0,0146 ом для міді 0,0189 ом для алюмінія

R_m - опір за рахунок втрат енергії в металевих частинах кабелю (сусідніх жилах, оболонці і т.д.)

0,0042 ом для міді 0,017 ом для алюмінія

R_0 - електричний опір ланцюга постійного струму, який розраховується ;

$$R_0 = \rho = \rho$$

- ρ - питомий опір ом*мм²/м; для міді 00175. алюмінія 0.0291
- d - діаметр провідника мм.
- l -довжина проводу км
- s - переріз провода мм²

R_m - опір внаслідок втрат в сусідніх групах та металевих масах оболонки, на частоті 200 кГц

$$R_m = R_m^{200}$$

f - частота струму кГц

Довідковий матеріал

p - коефіцієнт враховуючий втрати на вихровий струм в інших провідниках групи;

- при парній скрутці $p=1$,
- при зірковій скрутці $p=5$,
- при подвійній парній $p=2$.

a - відстань між осями провідників $a=1,41d_1$

d_1 - діаметр ізолюваної жили в мм;

Для кабелів типу МКС значення d_1 визначаються по формулі:

$$d_1 = d + 2\delta + 3\Delta$$

δ – діаметр _корделя_ $\delta = 0,8 \text{ мм}$

Δ – товщина _полістерольної_ стрічки, $\Delta = 0,045 \text{ мм}$

Для кабелів ЗКП, КСПП значення $d_1 = d + 2b$

Де товщина ізоляції b , при розрахунках приймати для кабелів типу:

ЗКП $b=1,1 \text{ мм}$

КСПП с діаметром жили 0,9 мм, $b=0,7 \text{ мм}$

КСПП с діаметром жили 1,2 мм, $b=0,8 \text{ мм}$

λ - коефіцієнт враховуючий збільшення довжини провідників за рахунок скрутки, коливається в межах 1.021.07;

2.Робоча ємність (C) між провідниками – це повна або виміряна ємність, яка завжди більша часткової ємності. Під час розрахунку параметрів кабеля найбільш використовується робоча ємність, яка визначається по формулі:

$$C = \frac{\chi \varepsilon_h}{36 \ln \frac{2a\psi}{d_0}} \text{ мф/км ;}$$

ε_h - відносна діелектрична проникність ізоляції жил;

χ - коефіцієнт скрутки провідників, який дорівнює 1,02

ψ - поправочний коефіцієнт, який характеризує відстань провідників від заземленої оболонки;

$$\psi = \frac{(d_2 + d_1 - d_0)^2 - a^2}{(d_2 + d_1 - d_0)^2 + a^2} ;$$

d_0 –діаметр провідника

d_1 - діаметр ізольованої жили провідника;

d_2 - діаметр групи;

- для двійкової групи $d_2=1,65 d_1$
- для зіркової групи $d_2=2,4 d_1$
- a - відстань між вісями двох провідників
- для зіркового ланцюга $a=1,41 d_1$
- для двохпровідного ланцюга $a=d_1$

3.Індуктивність ланцюга. (L) Гн/км

Вона складається з внутрішньої та зовнішньої $L=L_{зв}+L_{вн}$;

$L_{зв}=4 \ln 10^{-4}$;

$L_{вн}=2L_a=\mu Q(kr)10^{-4}$

$L=[4\ln+\mu Q(kr)]10^{-4}$ Гн/км.

a - відстань між вісями двох провідників

- для зіркового ланцюга $a = 1,41 d_1$
- для двохпровідного ланцюга $a = d_1$

$Q(kr)$ -коефіцієнт, який враховує витіснення магнітного поля з провідника за рахунок поверхневого ефекту, визначається в залежності від kr із таблиці 1.1.
r-радіус провідника в мм.

\

3.1. Індуктивність (L) двохпровідного ланцюга розраховується по формулі:

$$L = \left(\ln \frac{2a - d_0}{d_0} + 1 \right) \cdot 10^{-4} \text{ Гн/км}$$

4.Провідність ізоляції

$$G = G_0 + G_{\sim}$$

$G_{\sim}$ - провідність ізоляції змінного струму $G_{\sim} = \omega C \operatorname{tg} \delta$

G_0 - провідність постійному струму. $G_0 = 1/R_{iz}$

R_{iz} -опір ізоляції дорівнює:

- 2000 МОм/км (для місцевих кабелів зв'язку) дорівнює
- 10 000 МОм/км (для кабелів міжміського зв'язку)

$\operatorname{tg} \delta$ -тангенс кута діелектричних втрат

ω -кругова частота $\omega = 2\pi f$

$$G = \frac{1}{R_{iz}} + \omega C \operatorname{tg} \delta \quad \text{См/км.}$$

В сучасних кабелях зв'язку G_0 - провідність постійному струму за рахунок недосконалості ізоляції має маленьку величину, тому у розрахунках використовують наступну формулу:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta$$

Теоретично усі параметри залежать від температури, Але найбільше залежить опір, він розраховується по формулі:

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_R (t - 20)]$$

2 Вторинні параметри

1.Хвильовий опір - це опір яке зустрічає електромагнітна хвиля під час розповсюдження вздовж однорідної лінії без відбиття.

$$Z_k = \sqrt{L/C}; \quad \text{Ом}$$

$$Z_k = \sqrt{(R + i\omega L) / (G + i\omega C)}$$

Хвильовий опір не залежить від довжини хвилі і постійний у будь якій точці ланцюга.

$$2. \text{ Коефіцієнт згасання } \alpha = \left(\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) \text{ дБ/км}$$

$$3. \text{ Коефіцієнт фази } \beta = \omega \sqrt{LC} \text{ рад/км}$$

$$4. \text{ Швидкість розповсюдження } V = 1/\sqrt{LC}$$

$$5. \text{ Час розповсюдження енергії } T = 1/V = \sqrt{LC}$$

Вторинні параметри загасання (α) та фаза (β) зростають під час зростання частоти, хвильовий опір (Z) зменшується під час зростання частоти.

Під час передавання сигналів високої частоти, носієм енергії є не провідник, а навколишнє середовище. Провідник лише зберігає напрямок передавання. Електромагнітну хвилю можливо представити у вигляді двох хвиль: хвилі напруженості (відповідає електричному полю) та хвилі струму (відповідає магнітному полю). Між цими хвилями існує залежність у будь якій точці ланцюга, яка має розмірність опору та залежить від властивостей ланцюга

$$Z_{\text{хв}} = E/H = U/I$$

Збільшення дальності передавання, без додаткового збільшення міді, можливо отримати за рахунок підбору співвідношення R та G , так як

$$\alpha_0 = \sqrt{RG}.$$

$$X = \sqrt{RG/LC} ;$$

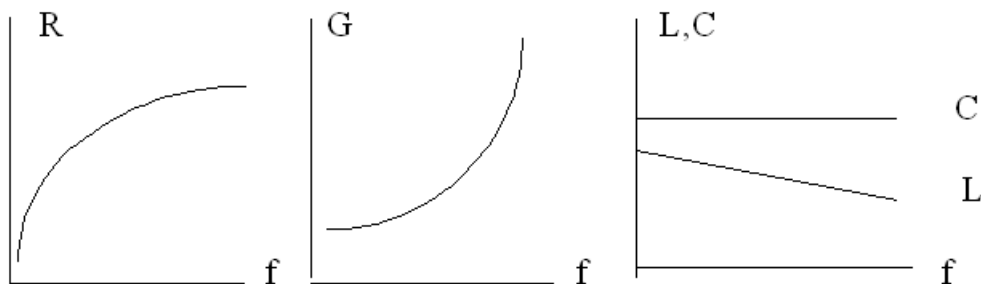
$$\alpha = \alpha_0/2 * X + \alpha_0/2 * 1/X \quad \alpha_{\min} = \alpha_M + \alpha_D = \sqrt{RG} ;$$

при $X=1$.

Довідковий матеріал

Первинні та вторинні параметри залежать від частоти:

первинні параметри опір (R) та провідність ізоляції (G) зростають під час зростання частоти, ємність (C) не змінюється, а індуктивність (L) зменшується під час зростання частоти.



Опір ізоляції та індуктивність ланцюга симетричного кабеля залежить від частоти струму. В більшій мірі від частоти залежить опір. При проходженні по ланцюгу струму високої частоти всередині кожного провідника виникає вихровий струм, який концентрується в середині провідника по траєкторіях схожих на елєпс.

Поверхневий ефект. Напрямок вихрового струму на поверхні провідника завжди співпадає з напрямком струму передаючого по провіднику, а

в середині має протилежний напрямок, що призводить до витіснення струму на поверхню. Внаслідок цього активний опір провідника зростає.

В симетричних ланцюгах внаслідок наявності електромагнітного поля виникає вихровий струм у сусідніх ланцюгах та навколишньому середовищі – це призводить до розсіювання частини енергії у вигляді втрат на тепло.

Під дією змінного струму виконується перерозподіл електромагнітної енергії в перерізі провідників, при цьому спостерігається: поверхневий ефект, ефект близькості сусідніх провідників, вплив на параметри ланцюга навколишніх металевих мас. В симетричних ланцюгах діють усі три фактори одночасно. В повітряних лініях, де відстань між провідниками значна відносно їх розмірів, необхідно враховувати лише поверхневий ефект.

У коаксіальних кабелях, які є закритою системою, не враховують дію навколишніх металевих мас. За рахунок вказаних явищ виконується перерозподіл електромагнітного поля та змінюються параметри ланцюга.

Активний опір R та ємність C зростають, а індуктивність L – зменшується.

Довідковий матеріал:

Значення $F(kr)$, $G(kr)$, $H(kr)$, $Q(kr)$ - коефіцієнти, які враховують втрати в провідниках за рахунок поверхневого ефекту, ефекта близькості та повторного ефекта близькості. Визначаються із таблиці, в залежності від ***(kr)***, ***котрий розраховується по формулі:***

$$kr = 0.0105d\sqrt{f}$$

f- частота струму Гц

Таблиця 1.1

kr	F(kr)	G(kr)	H(kr)	Q(kr)
0	0	$(kr)^4/64$	0.0417	1
0.5	0.000326	0.000975	0.042	0.9998
1.0	0.00519	0.01519	0.053	0.997
1.5	0.0258	0.0691	0.092	0.937
2.0	0.0782	0.1724	0.169	0.961
2.5	0.1756	0.295	0.263	0.913
3.0	0.318	0.405	0.348	0.945
3.5	0.492	0.499	0.416	0.766
4.0	0.678	0.584	0.466	0.686
4.5	0.862	0.669	0.503	0.616
5.0	1.042	0.755	0.530	0.556
7.0	1.743	1.109	0.596	0.400
10.0	2.799	1.641	0.643	0.286
>10.0	2.799	$(kr-1)^8$	0.750	2kr

6. Література : И.И. Гроднев «Линейные сооружения связи»