Міністерство освіти і науки України

Сумський державний університет



**4543 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт із дисципліни

**«Напрямні системи електричного та оптичного зв’язку»**

для студентів спеціальності

172 *«Телекомунікації та радіотехніка»*

денної форми навчання

Суми

Сумський державний університет

2019

Методичні вказівки до практичних робіт із дисципліни

«Напрямні системи електричного та оптичного зв’язку» / укладачі: А. І. Новгородцев, І. А. Кулик – Суми : Сумський державний університет, 2019. – 70 с.

Кафедра електроніки і комп’ютерної техніки

**ЗМІСТ**

  С.

Вступ................................................................................................ 4

**Практичне заняття 1**

Розрахунок первинних параметрів симетричних ланцюгів …… 5

**Практичне заняття 2**

Розрахунок вторинних параметрів симетричних ланцюгів ….. 13

**Практичне заняття 3**

Розрахунок первинних параметрів коаксіальних ланцюгів ….. 26

Розрахунок вторинних параметрів коаксіальних ланцюгів ….. 29

**Практичне заняття 4**

Розрахунок впливу співвідношення розмірів провідників коаксіальних пари на параметри передачі ……………………. 35

Розрахунок впливу в коаксіальних кабелях зв'язку ………….. 37

**Практичне заняття 5**

Розрахунок елементів конструкцій оптичних кабелів ……….. 41

Розрахунок параметрів оптичних кабелів ……………………. 46

**Практичне заняття 6**

Розрахунок загасання в оптичних кабелях …………………... 52

**Практичне заняття 7**

Розрахунок дисперсії в оптичних кабелях ……………………. 58

Розрахунок довжини регенераційної ділянки ………………… 61

**Практичне заняття 8**

Розрахунок небезпечного впливу високовольтних ліній передачі на ланцюги зв'язку …………………………………… 65

Список літератури ……………………………………………… 70

**ВСТУП**

Одним з основних напрямків сучасного науково-технічного прогресу у сфері телекомунікаційних і інформаційних систем і мереж є всебічний розвиток волоконно-оптичних систем зв’язку, що забезпечують можливість доставки на значні відстані надзвичайно великого обсягу інформації з найвищою швидкістю.

Уже зараз є волоконно-оптичні лінії зв’язку (ВОЛЗ) великої інформаційної ємності з довжиною регенераційних ділянок до 200 км і більше.

Однак сфера застосування волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) не обмежується передаванням даних на великі відстані для безпосереднього зв’язку, а має більш широкий спектр: від бортових систем до локальних LAN (Local Area Network) і глобальних WAN (Wide Area Network) волоконно-оптичних телекомунікаційних мереж.

У цей час у всьому світі постачальники послуг зв’язку прокладають за один рік десятки тисяч кілометрів волоконно-оптичних кабелів під землею, по дну океанів, рік, на лініях електропередач (ЛЕП), у тунелях і колекторах. Безліч компаній, зокрема найбільші: IBM, Lucent Technologies, Nortel, Corning, Alcoa Fujikura, Siemens, Pirelli, інтенсивно досліджують у сфері волоконно-оптичних технологій.

Дисципліна «Напрямні системи електричного та оптичного зв’язку» є однією з базових професійно орієнтованих дисциплін.

Метою вивчення дисципліни є засвоєння фізичних основ волоконно-оптичного зв’язку, засвоєння принципів дії, побудови та призначення різних складових волоконно-оптичних ліній, мереж та систем зв’язку, методів формування сигналів оптичного лінійного тракту, методів приймання та оброблення оптичних сигналів, основ побудови волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) у цілому, вимірювань у техніці волоконно-оптичного зв’язку.

Вивчення курсу є необхідним у підготовленні сучасного інженера спеціальності «Телекомунікації».

**Практичне заняття 1**

**Розрахунок первинних параметрів симетричних ланцюгів**

**Завдання 1**

  Визначити у скільки разів зменшиться індуктивність симетричною ланцюга у кабелі МКСГ- 4х4, якщо в першому випадку по ньому організований один стандартний канал тональної частоти, а в другому випадку була використана система передачі К-300. Чому будуть при цьому рівні загальні значення індуктивності даного симетричною ланцюга? Розрахунки проводити на верхніх частотах переданих сигналів.

**Розв’язок**

Загальне значення індуктивності симетричного кабельного ланцюга визначається з виразу (причому другий доданок - 2La - визначає внутрішню індуктивність ланцюга):

*,* де

a - відстані між центрами провідників, мм;

r - радіус голого провідника, мм;

Lвн - зовнішня індуктивність ланцюга, Гн/км;

Lа - внутрішня індуктивність одного провідника, Гн/км;

х - коефіцієнт укрутки;

μr - відносна магнітна проникність;

Q (kr) - спеціальна функція, отримана з використанням  видозмінених функцій Бесселя.

Для вирішення цього завдання використовуємо раніше знайдені конструктивні параметри досліджуваного симетричного ланцюга: діаметр і матеріал жили, товщину і матеріал ізоляції, коефіцієнт укрутки. Знайдемо відстань між провідниками - а:

a = √ (2)•d(і) = √2 (d+2δ+2Δ) = √2 (1,2+2•0,8+2•0,05) = 4,09 мм.

Верхні частоти системи передачі К-300 і каналу тональної частоти відповідно становлять 1300 і 4 кГц. За таблицею 1.1, визначимо значення kr для шуканих частот.

Таблиця -1.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Матеріал провідника |  | *kr* |
| Мідь | 0,021 | 0,0105d |
| Алюміній | 0,0164 | 0,082d |
| Сталь | 0,075 | 0,0375d |

Їх значення складуть: для f = 1300 кГц,

kr = 0,0105d = 0,0105\*1,2= 14,37;

для f = 4 кГц, kr = 0,0105d = 0,0105\*1,2= 0,8.

Значення спеціальної функції Бесселя Q (kr) для двох частот знаходимо з таблиці 1.2.

Величина μr матеріалу провідника (міді) дорівнює 1. Тоді внутрішня індуктивність симетричного ланцюга на двох заданих частотах дорівнює:

для f = 1300 кГц,

для f = 4 кГц,

Таблиця – 1.2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 0.987 |
| 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 | 0.845 |
| 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 | 0.282 |
| >10.0 |  |  |  |  |

Отже, внутрішня індуктивності на частоті 4 кГц в 5,07 раз більше, ніж на частоті 1300 кГц. Загальне значення індуктивності на двох заданих частотах дорівнює:

для f = 1300 кГц:

для f = 4 кГц :

**Відповідь:** внутрішня індуктивність на частоті 4 кГц в 5,07 рази більше, ніж на частоті 1300 кГц. Загальні величини індуктивності: L1300 = 0,739 мГн/км, L4 = 0,820 мГн/км.

**Завдання 2**

Визначити, на скільки відрізняється ємність ідеального симетричного ланцюга від ємності реального симетричного ланцюга, що знаходиться в кабелі МКСГ- 4х4, якщо параметри ідеального ланцюга і симетричного ланцюга кабелю МКСГ збігаються.

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання використовуємо раніше знайдені у задачах конструктивні параметри використаного симетричного ланцюга: діаметра і матеріал жили, товщину і матеріал ізоляції, коефіцієнт укрутки, відстань між центрами жил. Для розрахунку ємності ідеального симетричного ланцюга (без впливу сусідніх металевих мас) скористаємося формулою:

.

Результуючі еквівалентні значення відносної діелектричної проникності εе при комбінованих ізоляціях наведені у таблиці 2.1. Значення еквівалентної відносної діелектричної проникності для кордельно-стірофлексної ізоляції (табл. 2.1) становить 1,25. Відстань між центрами жил, знайдене в завданні 4, так само 4,09 мм. Ємність ідеального симетричного ланцюга дорівнюватиме:

Таблиця - 2.1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип ізоляції |  | *tq* при частоті, кГц | | | |
| 10 | 100 | 250 | 550 |
| Кордельно - бумажна | 1,3 - 1,4 | 55 | 113 | 160 | 280 |
| Кордельно - стирофлексна | 1,2 - 1,3 | 3 | 7 | 12 | 20 |
| Поліетиленова ( суцільна) | 1,9 - 2,1 | 2 | 6 | 8 | 14 |
| Пористо - поліетиленова | 1,4 - 1,5 | 3 | 8 | 12 | 20 |
| Балонно - поліетиленова | 1,2 - 1,3 | 2 | 6 | 8 | 12 |

Для визначення ємності симетричної пари в кабелі МКСГ слід врахувати поправочний коефіцієнт Ψ, що характеризує близькість провідників до заземленої оболонки та іншим провідникам. Коефіцієнт Ψ визначається за формулою, наведеною в табл. 2.2 для зоряної скрутки.

Таблиця - 2.2.

|  |  |
| --- | --- |
| Тип скрутки | Поправочний коефіцієнт |
| Парна |  |
| Зіркова |  |
| Двійна парна |  |

Діаметри ізольованого провідника і зоряної скрутки дорівнюють,відповідно, 2,9 і 6,99 мм. Для цих значень поправочний коефіцієнт буде дорівнювати:

Ємність реального симетричною ланцюга кабелю МКГС 4х4 з урахуванням близькості сусідніх пар визначимо з виразу:

= 24.12 нФ∕км.

**Відповідь:** *ΔС=* 4,4 *нФ∕км.*

**Завдання 3**

Визначити, у скільки разів зміниться провідність ізоляції симетричної пари, якщо вона в першому випадку знаходиться у кабелі МКСГ 4х4, а в другому випадку - у МКГ 4х4. На кабелях працює система передачі К-60. Розрахунки проводити на верхній і нижній частоті системи передачі.

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання використовуємо формулу:

де - провідність ізоляції за постійним струмом, См/км;

- провідність ізоляції за змінним струмом, См/км;

Rіз - опір ізоляції кабельного ланцюга;

ω - кругова частота (ω = 2πf);

C - ємність симетричного ланцюга;

tgδ - тангенс кута діелектричних втрат (табл.2.1).

Для визначення провідності спочатку знаходимо ємність симетричної пари. Величина ємності цієї симетричної пари буде дорівнювати:

= 24.12 нФ ∕ км.

Діаметр мідних струмопровідних жил 1,2 мм. Ізоляція складається з паперового корделю діаметром 0,81 мм і двох стрічок з кабельного паперу К-17, товщиною 0,17 мм. Коефіцієнт укрутки 1,02. Коефіцієнт, що враховує вид скручування - (р = 5).

Виходячи з геометричного розташування корделю і паперових стрічок на мідній жилі, визначимо діаметр ізольованої жили:

Відстань між провідниками знаходиться з виразу:

Діаметр зоряної групи дорівнюватиме:

Для визначення ємності симетричної пари у кабелі МКГ знайдемо поправочний коефіцієнт Ѱ. Коефіцієнт Ѱ (для зоряної скрутки) визначається за формулою з табл. 2.2.

Значення еквівалентної відносної діелектричної проникності для кордельно-паперової пари дорівнює:

= 22,78 нФ ∕ км.

Частоти, на яких слід визначити провідність, дорівнюють 12 і 252 кГц. Для цих частот знаходимо тангенси кута утрат з табл. 2.1 для двох типів ізоляції. Величина опору ізоляції для магістральних симетричних кабелів дорівнює 10000 МОм•км. Тоді величина провідності на верхній і нижній частотах для кабелю МКСГ 4х4 дорівнюватиме:

Для f =12 кГц,

Для f = 252 кГц,

Для кабеля МКГ 4х4:

Для f = 12 кГц,

Для f = 252 кГц,

**Відповідь:**

* для кабелю МКСГ 4х4 –
* .

Провідність ізоляції на частоті 12 кГц у кабелі МКСГ буде у 1.75 рази менше, ніж у кабелі МКГ, а на частоті 252 кГц у 12.7 раза.

**Практичне заняття 2**

**Розрахунок вторинних параметрів симетричних ланцюгів**

**Завдання 1**

Визначити мінімальне і максимальне значення хвильового опору електромагнітної хвилі, що проходить по симетричній парі кабелю МКСГ 4х4, якщо кабель працює з системою передачі К- 60.

**Розв’язок**

Максимальним хвильовий опір буде на нижніх частотах сигналу, що передається, а мінімальним - на верхніх частотах. Мінімальною та максимальною частотою сигналу, що передається в апаратурі К- 60 будуть відповідно 12 і 252 кГц.

Для вирішення цього завдання скористаємося формулами для розрахунку хвильового опору у різних частотних областях. Хвильовий опір на частоті 12 кГц буде визначатися за формулою:

,

а на частоті 252 кГц - за формулою: .

Для розрахунку за цими формулами, необхідно спочатку визначити первинні параметри симетричного ланцюга - R, G, L, C на заданих частотах.

Значення опору на частоті 252 кГц - 92,97 Ом / км.

Визначимо R на частоті 12 кГц. Для f = 12 кГц, параметр kr дорівнює:

.

Значення спеціальних функцій Бесселя F(kr), G(kr), H(kr) знаходимо із табл.1.1:

F(kr) = 0,0217; G(kr) = 0,0583; H(kr) = 0,0842.

Позначення втрат на вихрєві струми у проводах суміжних четвірок і у маталевій оболочці кабелю для f =12 кГц:

Таблиця1.1 - Значення спеціальних функцій Бесселя

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 0.987 |
| 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 | 0.845 |
| 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 | 0.282 |
| >10.0 |  |  |  |  |

Загальне значення опору симетричної пари на частоті 12кГц:

для f = 252 кГц:

Визначимо індуктивність L на частотах 252 та 12 кГц. Значення kr:

Для f = 252 кГц:

Для f = 12 кГц:

Значення спеціальної функції Бесселя Q(kr):

Для f = 252 кГц:

Для f = 12 кГц:

Загальне значення індуктивності:

Для f = 252 кГц:

Для f =12 кГц:

Визначимо ємність симетричної пари. Значення ємності не залежить від частоти, її величина для кабеля МКСГ 4х4 була знайдена - С = 24,12 нФ/км.

Іскомі значення провідності ізоляції на частотах 252 і 12 кГц у кабелі МКСГ:

Для f =12 кГц:

Для f = 252 кГц:

Визначивши усі значення первинних параметрів, знайдемо величини хвилевих опорів. Хвилевий опір на частоті 12 кГц буде дорівнювати:

Хвилевий опір на частоті 252 кГц:

**Відповідь: м**аксимальний хвилевий опір (на частоті 12 кГц). Мінімальний хвилевий опір (на частоті 252 кГц)

**Задача 2**

Визначити коефіцієнт загасання симетричного ланцюга у кабелі МКСГ 4х4, якщо кабель працює з системою передачі К-300. Показати, у скільки разів втрати у металі більші або менші від втрат у діелектрику. Розрахунки проводити на верхній і нижній частотах системи передачі.

**Розв’язок:**

Нижній і верхній частоті сигналу, що передається в апаратурі К-300, відповідає 60 і 1300 кГц. Для подальших розрахунків скористаємося формулою:

Для обчислень за цією формулою, необхідно спочатку визначити первинні параметри симетричного ланцюга - R, G, L, C на заданих частотах.

Як і в попередній задачі, скористаємося раніше поданою методикою розрахунку первинних параметрів і визначимо їх значення.

Визначимо R на частоті 60 і 1300 кГц. Параметр kr складе:

Для f = 60 кГц:

Для f = 1300 кГц:

Значення спеціальних функцій Бесселя F (kr), G(kr), H (kr):

Для f = 60 кГц: F(kr) = 0,353; G (kr) = 0,424; H(kr) = 0,362;

Для f = 1300 кГц:

Значення втрат на вихрові струми у проводах суміжних четвірок і у металевій оболонці кабелю:

Для f = 60 кГц:

Для f = 1300 кГц:

Загальне значення опору симетричної пари:

На частоті 60 кГц –

На частотіі 1300 кГц –

Для f = 60 кГц:

Значення спеціальної функції Бесселя Q(kr):

Для f = 60 кГц:

Загальне значення індуктивності:

для f = 60 кГц –

для f = 1300 кГц –

Визначимо ємність симетричної пари. Значення ємності не залежить від частоти, її величина для кабелю МКСГ 4х4, С = 24,12 нФ / км.

Визначимо провідність на частотах 60 і 1300 кГц. Для цих значень тангенси кута втрат визначимо з табл. 1.2.

Таблиця 1.2- Тангенси кута втрат

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип изоляції |  | *tq* при частоті, кГц | | | |
| 10 | 100 | 250 | 550 | |
| Кордельно - бумажна | 1,3 - 1,4 | 55 | 113 | 160 | 280 | |
| Кордельно - стирофлексна | 1,2 - 1,3 | 3 | 7 | 12 | 20 | |
| Поліетиленова (суцільна) | 1,9 - 2,1 | 2 | 6 | 8 | 14 | |
| Пористо - поліетиленова | 1,4 - 1,5 | 3 | 8 | 12 | 20 | |
| Баллонно - поліетиленова | 1,2 - 1,3 | 2 | 6 | 8 | 12 | |

Величина опору ізоляції для магістральних симетричних кабелів, дорівнює 10000 МОм•Км. Провідність ізоляції для кабелю, буде дорівнювати:

для f = 60 кГц –

для f = 1300 кГц –

Тоді затухання на частоті 60 кГц будет дорівнювати:

для f =1300 кГц –

Перший член у цих висловах враховує втрати у металі, а другий - у діелектрику. Відповідно втрати у діелектрику будуть менші на частоті 60 кГц в 487,3 рази, а на частоті 1300 кГц - менші вже в 14,3 рази.

Відповідь: Втрати у діелектрику на частоті 60 кГц будуть менші у 487,3 рази, а на частоті 1300 кГц - менші у 14,3 рази.

**Завдання 3**

Визначити, на скільки відрізняються коефіцієнти фази симетричних ланцюгів у кабелях МКСГ 4х4 і МКТ 4х4, якщо кабелі працюють з системою передачі ИКМ-30. Розрахунки проводити на верхній частоті системи передачі.

**Розв’язок**

Верхній частоті сигналу, що передається в апаратурі ІКМ-30, відповідає 2048 кГц. Для подальших розрахунків скористаємося формулою: β = ω

Для обчислень за цією формулою, спочатку визначимо параметри симетричного ланцюга L і С на частоті 2048 кГц для різних кабелів.

Скористаємося методикою розрахунку первинних параметрів і визначимо значення L і С.

Для кабелю МКСГ 4х4:

для f = 2048 кГц –

Значення спеціальної функції Бесселя Q (kr):

Значення індуктивності для f = 2048 кГц:

Значення ємності не залежить від частоти, її величина для кабелю МКСГ 4х4: C = 24,12 нФ / км.

Для кабеля МКГ 4х4.

Для –

Значення спеціальної функції Бесселя Q (kr):

Значення індуктивності для :

Значення ємності для кабелю МКГ 4х4:

Коефіцієнти фази симетричного ланцюга у кабелях МКСГ і МКГ, в областях високих частот, будуть дорівнювати відповідно:

для кабелю МКСГ 4х4:

для кабелю МКГ 4х4:

Відповідь: Коефіцієнт фази симетричного ланцюга у кабелі МКСГ 4х4 буде на 1,6 рад / км менше, ніж у кабелі МКГ 4х4.

**Практичне заняття 3**

**Розрахунок первинних параметрів коаксіальних ланцюгів**

**Задача1**

При виготовленні коаксіальної пари для кабелю КМ-4 був збій у набиванні ізоляційних шайб. В результаті цього відстань між шайбами, ​​стала дорівнювати 35 мм. Визначити, на скільки змінилася ємність коаксіальної пари.

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання визначимо конструктивні параметри даної коаксіальної пари. Діаметр внутрішнього мідного провідника дорівнює 2,6 мм з відстанню між ними 25 мм; зовнішній провідник - мідний з внутрішнім діаметром 9,5.

Спочатку визначимо ємність коаксіальної пари з нормованою відстанню між шайбами.

Розрахунки будемо проводити за формулою

значення відносної діелектричної проникності = 1,13 візьмемо з табл. 1.1 (для даного типу кабелю і типу ізоляції):

Таблиця 1.1 - Результуючі еквівалентні значення відносної діелектричної проникності εе при комбінованих ізоляціях

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип кабелю | Тип ізоляції | εе | Відношення Vд/Vв | при частоті, МГц | | | |
| 1 | 5 | 10 | 60 |
| 2,6/9,5 | Поліетиленова шайба | 1,13 | 8,9 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,8 |
| 2,6/9,5 | Поліетиленова спіраль | 1,1 | 6 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 1,2/4,6 | Балонно- поліетиленова | 1,22 | 9 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | - |
| 2,1/9,7 | Порісто- поліетиленова | 1,5 | 50 | 2 | 3 | 3 | - |
| 5/18 | Кордельно-стірофлексна | 1,19 | 12 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |

За формулою визначимо змінену еквівалентну відносну діелектричну проникність ізоляції. Величину діелектричної проникності поліетилену знаходимо 2,1. Діелектрична проникність повітря = 1. Розміри поперечного перерізу першого і другого діелектрика визначаються виходячи з конструктивних розмірів коаксіальної пари. Товщина шайби а = 2,2 мм, відстані між шайбами ​​b = 35 мм. Еквівалентна діелектрична проникність незмінної коаксіальної пари дорівнює:

Визначимо ємність коаксіальної пари зі зміненою відстанню між шайбами:

Отже, ємність коаксіальної пари зменшиться на 2,79 нФ/км.

Відповідь: ΔC = 2,79 нФ ∕ км.

**Задача 2**

  Визначити, на скільки відрізняються провідності ізоляції коаксіальних пар в комбінованому кабелі КМ-8/6, якщо по коаксіальної парі 2,6 / 9,5 мм працює система передачі К-1920, а по парі 1,2 / 4,6 мм система передачі К-300. Розрахунки проводити на верхній частоті переданих сигналів.

**Розв’язок**

Спочатку визначимо ємність коаксіальних пар. Значення ємністі коаксіальної пари 2,6 / 9,5 мм, було знайдено при вирішенні попереднього завдання C1 = 48,46 нФ / км. Ємність коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм знаходиться за формулою

**.**

Значення відносної діелектричної проникності дорівнює табличному значенню еквівалентної діелектричної проникності (табл. 1.1) (для даного кабелю і типу ізоляції):

Розрахунок провідності виконуємо за формулою:

.

Знаходимо величину опору ізоляції у коаксіальної парі 2,6 / 9,5 мм і у коаксіальної парі 1,2 / 4,6 мм. Опір ізоляції відповідно 10000 МОм•км і 15000 МОм•км. Верхня частота системи передачі К-1920 дорівнює 8500 кГц, а верхня частота системи передачі К-300 дорівнює 1300 кГц. З табл. 1.1знаходимо значення тангенса кута діелектричних втрат для коаксіальної пари 2,6 / 9,5 мм і коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм, відповідно і . Визначимо провідність ізоляції коаксіальної пари 236 / 9,5 мм:

Знаходимо провідність ізоляції коаксіальної пари 1,2/4,6 мм:

Отже, провідність ізоляції різних коаксіальних пар у комбінованому кабелі КМ-8/6 відрізняється на 115 мкСм / км.

Відповідь: ΔG = 115 мкСм ∕ км.

**Розрахунок вторинних параметрів коаксіальних ланцюгів**

**Завдання 1**

Визначити на скільки відрізняються хвильові опору коаксіальних пар в комбінованому кабелі КМ-8/6, якщо по коаксіальної парі 2,6 / 9,5 працює система передачі К-3600, а по парі 1,2 / 4,6 мм - система передачі К -300.Расчети проводити на верхній частоті переданих сигналів.

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання скористаємося точними і спрощеними формулами. Використовуємо знайдені раніше конструктивні параметри коаксіальних пар комбінованого кабелю КМ - 8/6. Діаметр внутрішнього мідного провідника коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм дорівнює 1,2 мм; ізоляція - повітряно-поліетиленова, балонного типу; зовнішній провідник - мідний з внутрішнім діаметром 4,6 мм і товщиною 0,1 мм; екран-з двох сталевих стрічок товщиною по 0,1 мм.

Діаметр внутрішнього мідного провідника коаксіальної пари 2,6 / 9,5 мм дорівнює 2,6 мм; ізоляція з поліетиленових шайб; зовнішній провідник - мідний з внутрішнім діаметром 9,5 мм.

   Визначимо хвильовий опір для коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм. Верхня частота системи передачі К-300 дорівнює 1300 кГц. Для розрахунку скористаємося формулою

=, Ом

Де L - індуктивність ланцюга, Гн / км; C - ємність ланцюга, Ф / км.

Використовуємо наведену раніше методику розрахунку первинних параметрів коаксіального кабелю і попередньо розрахуємо індуктивність і ємність даної коаксіальної пари на верхній частоті системи передачі К - 300.

Індуктивність коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм визначається за спрощеною формулою:

L==\*== 2,813\*Гн/км.

Ємність коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм складає 50,44 нФ / км. Значення хвильового опору для коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм, на частоті 1300 кГц визначимо з виразу:

== 74, 68 Ом.

Визначимо хвильовий опір для коаксіальної пари 2,6 / 9,5 мм. Верхня частота системи передачі К-3600 дорівнює 17600 кГц. Розрахуємо хвильовий опір на частотах > 2 МГц. Значення відносної діелектричної проникності комбінованої ізоляції коаксіальної пари 2,6 / 9,5 мм візьмемо із табл.1.2:

Таблиця 1.2- Діелектрична проникність комбінованої ізоляції

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип кабелю | Тип ізоляції | εе | Відношення Vд/Vв | при частоті, МГц | | | |
| 1 | 5 | 10 | 60 |
| 2,6/9,5 | Поліетиленова шайба | 1,13 | 8,9 | 0,5 | 0,5 | 0,7 | 0,8 |
| 2,6/9,5 | Поліетиленова спіраль | 1,1 | 6 | 0,4 | 0,4 | 0,5 | 0,6 |
| 1,2/4,6 | Балонно- поліетиленова | 1,22 | 9 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | - |
| 2,1/9,7 | Порісто- поліетиленова | 1,5 | 50 | 2 | 3 | 3 | - |
| 5/18 | Кордельно-стірофлексна | 1,19 | 12 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 1,2 |

=\*ln=\*ln.

Таким чином хвильовий опір коаксіальних пар у кабелі КМ-8/6 на заданих частотах відрізняється на 1,54 Ом.

Відповідь: ΔZв = 1,54 Ом.

**Завдання 2**

Порівняти розрахункові дані загасання коаксіальної пари у кабелі МКТ, отримані за повними і спрощеним формулам. На кабелі працює система передачі К-300. Розрахунки проводити на верхній частоті переданих сигналів.

**Розв’язок**

      Для вирішення використовуємо знайдені раніше у попередніх завданнях конструктивні параметри коаксіальної пари. Діаметр внутрішнього мідного провідника коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм дорівнює 1,2 мм; ізоляція - повітряно-поліетиленова, балонного типу; зовнішній провідник - мідний з внутрішнім діаметром 4,6 мм і товщиною 0,1 мм; екран - з двох сталевих стрічок товщиною по 0,1 мм. Для точних розрахунків скористаємося формулою:

а = \* 8,69, дБ/км.  
 Для обчислень за цією формулою необхідно спочатку визначити первинні параметри коаксіальної пари - R, G, C, L на заданій частоті. Як і в попередній задачі, скористаємося раніше поданою методикою розрахунку первинних параметрів і визначимо їх значення на верхній частоті системи передачі К-300, яка дорівнює 1300 кГц.

  Опір коаксіальної пари на частоті 1300 кГц можна визначити за спрощеною формулою. Активний опір коаксіальної пари дорівнюватиме:

R= 100,06 Ом / км.

Індуктивність L на частоті 1300 кГц була розрахована у попередньому завданні, її величина складає 2,813\* Гн/км.

Провідність ізоляції G на частоті 1300 кГц була розрахована раніше, її значення становить 50,6 мкмСм / км.

   Ємність коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм була також раніше знайдена, її значення дорівнює 50,44 нФ / км.

Знайдемо загасання коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм, на частоті 1300 кГц за повною формулою:

а =\*8,69 =\* 8,69 = 5,84 дБ/км.

Визначимо загасання коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм на частоті 1300 кГц за спрощеною формулою. Значення еквівалентної діелектричної проникності і тангенса кута електричних втрат комбінованої ізоляції даної коаксіальної пари знаходимо з табл. 1.1:

а==\*+9,08\*f\*\*\*+9,08\*

1300000\*\*.

Таким чином, загасання коаксіальної пари у кабелі МКТ на заданих частотах відрізняються на 0,14 дБ / км.

Відповідь: Δα = 0,14 дБ / км.

**Завдання 3**

Визначити, у скільки разів відрізняється коефіцієнт фази коаксіальних пар у комбінованому кабелі КМ - 8/6, якщо по коаксіальної парі 2,6 / 9,5 мм працює система передачі ІКМ-1920, а по парі 1,2 / 4,6 мм - система передачі К-300. Розрахунки проводити по верхній частоті переданих сигналів.

**Розв’язок:**

Для вирішення використовуємо знайдені у попередніх завданнях конструктивні параметри коаксіальних пар комбінованого кабелю Км - 8/6; діаметр внутрішнього мідного провідника коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм дорівнює 1,2 мм; ізоляція - повітряно-поліетиленова, балонного типу; зовнішній провідник - мідний з внутрішнім діаметром 4,6 мм і товщиною 0,1 мм; екран-з двох сталевих стрічок товщиною по 0,1 мм. Діаметр внутрішнього мідного провідника коаксіальної пари 2,6 / 9,5 мм дорівнює 2,6 мм; ізоляція з поліетиленових шайб; зовнішній провідник - мідний з внутрішнім діаметром 9,5 мм.

Для розрахунків коефіцієнта фази коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм на частотах < 2 МГц, скористаємося формулою. Для обчислень за цією формулою нам необхідно спочатку визначити первинні параметри коаксіальної пари - C, L на заданій частоті.

Як і в попередніх задачах, скористаємося раніше поданою методикою розрахунку первинних параметрів і визначимо їх значення на верхній частоті системи передачі К-300, що дорівнює 1300 кГц.

    Індуктивність L на частоті 1300 кГц складає 2,813\* Гн/км. Ємність коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм дорівнює 50,44 нФ / км.

Знайдемо коефіцієнт фази коаксіальної пари 1,2 / 4,6 мм на частоті 1300 кГц за повною формулою:

= =30,7 рад/км.

Визначимо коефіцієнт фази коаксіальної пари 2,6 / 9,5 мм за спрощеною формулою, так як тактова частота дорівнює 140 МГц. Значення еквівалентної діелектричної проникності комбінованої ізоляції даної коаксіальної пари знаходимо з табл. 1.1:

= = 3115,4 рад/км.

Таким чином, коефіцієнт фази коаксіальних пар у кабелі КМ - 8/6 на заданих частота відрізняюється у 101,5 рази.

Відповідь: 101,5 рази.

**Практичне заняття 4**

**Розрахунок впливу співвідношення розмірів провідників коаксіальних пари на параметри передачі**

**Завдання 1**

Визначити, якою має бути відстань між поліетиленовими шайбами ​​товщиною 2,2 мм у коаксіальної парі 2,6 / 9,4 мм з хвильовим нормованим опором в 75 Ом.

**Розв’язок:**

Для вирішення цього завдання знайдемо оптимальну еквівалентну діелектричну проникність при відомому співвідношенні діаметрів та при нормованому хвильовому опорі в 75 Ом. Її величина дорівнює 1,05.

Визначимо за формулою визначення еквівалентної відносної діелектричної проникності ізоляції, величину відстані між поліетиленовими шайбами.

a - товщина шайби, мм;

b - відстань між шайбами, мм;

- відносна діелектрична проникність повітря;

- відносна діелектрична проникність матеріалу шайби.

Величина діелектричної проникності поліетилену εд = 2,1. Діелектрична проникність повітря εв = 1. Розміри поперечного перерізу першого і другого діелектрика визначається виходячи з конструктивних розмірів коаксіальної пари.

Товщина шайби a = 2,2 мм, відстані між шайбами b = X. Еквівалентна діелектрична проникність зміненої коаксіальної пари дорівнює:

Відповідь: Відстань між шайбами має дорівнювати 46 мм.

**Завдання 2**

Яке мінімальне загасання може бути досягнуто у коаксіальних парах на верхній частоті апаратури До-3600, якщо відомо, що діаметр внутрішнього провідника дорівнює 2,6 мм, обидва провідника мідні, а хвильовий опір дорівнює 75 Ом.

**Розв’язок:**

Мінімальне загасання e коаксіальних парах досягається при оптимальному співвідношенні діаметрів зовнішнього і внутрішнього провідників, що дорівнює 3,6. Для вирішення скористаємося рівнянням:

Для цього спочатку знайдемо величину внутрішнього діаметра зовнішнього провідника, виходячи з відомої величини діаметра зовнішнього провідника виходячи з відомої величини діаметра внутрішнього провідника.

Величина D = 9,36 мм. Оптимальна еквівалентна діелектрична проникність дорівнює 1,05 (при відомому співвідношенні діаметрів та при нормованому хвильовому опорі в 75 Ом.). Високочастотна складова сигналу, що передається в апаратурі До-3600 дорівнює 17600кГц. Знайдемо мінімально можливе загасання у даних коаксіальних парах:

**Відповідь**: .

**Розрахунок впливу в коаксіальних кабелях зв'язку**

**Завдання 1**

Розрахувати перехідне загасання на ближньому і дальньому кінці між коаксіальними ланцюгами 2,6 / 9,4 в кабелі КМ 8/6, якщо з технічної необхідності до даних ланцюгах справили підключення апаратури К-300. Є контакт між екранами на нижній частоті системи передачі.

**Розв’язок**

  Перехідне загасання на ближньому кінці і захищеність на далекому кінці у коаксіальних кабелях рівні для умов короткого замикання зовнішніх провідників коаксіальних пар.

Величина захищеності Аot=94.5дБ.   
 Величина перехідного загасання на дальньому кінці пов'язана з захищеністю. Для подальшого вирішення оцінимо величину втрат в коаксіальній парі. Скористаємося табличними даними втрат для зазначеної в умовах завдання частоти. Значення перехідного загасання на дальньому кінці при знайденій раніше захищеності дорівнюватиме:

αl = 94,5 + 0,55 \* 3 = 96,2 дБ.

**Відповідь:** = 96,2 дБ.

**Завдання 2**

Визначити наскільки зміниться опір зв'язку і перехідне загасання на ближньому кінці між коаксіальними парами 2,6 / 9,4 кабелю КМ-4, якщо переданий по ним сигнал виросте з 60 до 300 кГц. Є контакт між екранами коаксіальних пар. Довжина лінії 3 км.

**Розв’язок**

 Визначимо параметри коаксіальної пари. Товщина зовнішнього провідника Δ = 0,3 мм. Екран їх двох сталевих стрічок товщиною по 0,15 мм, накладених з кроком h = 10 мм. Загальна товщина екрану 0,3 мм. Відносна магнітна проникність матеріалу екрану =100. Внутрішній радіус зовнішнього провідника - = 4,7 мм. Зовнішній радіус зовнішнього провідника дорівнюватиме:

=+= 4,7+0,3 = 5,0 мм.

Для знаходження опору зв'язку спочатку визначимо значення параметра N, його величина при товщині мідного зовнішнього провідника Δ = 0,3 мм і частоті f = 60 кГц складає 50 Ом, а при частоті f = 300 кГц складає 34 Ом.

  Опір зв'язку дорівнюватиме:

- при частоті 60 кГц

=\*= \*55 =1,81 Ом/км.

- при частоті 300 кГц

=\*=\*34=1,12 Ом/км.

Поздовжня індуктивність сталевого екрану визначається за формулою:

   =\*\*

\*\*= 18,8\*Гн/км

  Внутрішня індуктивність сталевого екрану знаходиться з виразу:

     =\*ln\*\*= 2\*100\*= 11,6\*Гн/км

Опір зв'язку з урахуванням екранних стрічок визначимо за формулою:

- на частоті 60 кГц

=\*\*\*\*= 18,8\*Гн/км

Внутрішня індуктивність сталевого екрану знаходиться з виразу:

=\*ln\*\*= 2\*100\*=11,6\*Гн/км

Опір зв'язку з урахуванням екранних стрічок визначимо за формулою:

- на частоті 60 кГц

===1,12 Ом/км,

- на частоті 300 кГц

=== 0,69 Ом/км.

   Таким чином, опір зв'язку із зростанням частоти зменшується на 0,43 Ом / км.

       Повний поздовжній опір проміжнього третього ланцюга їх зовнішніх провідників коаксіальних пар Z3 визначимо з виразів:

- на частоті 60 кГц

= jω\* = jω\*= j2\*3,14\*60\*\*2\*11,6\*= j874,2 Ом/км,

- на частоті 300 кГц

= jω\*= jω\*= j2\*3,14\*300\*\*2\*11,6\*= j4371 Ом/км.

Для подальших розрахунків необхідно знати величину хвильового опору і коефіцієнта поширення. Хвильовий опір на частоті 60 кГц одно 77, 95 Ом, на частоті 300 кГц дорівнює 75, 83Ом. Коефіцієнт поширення на частоті 60 кГц дорівнює γ = α + βj = (0,55 + j1,36) 1 / км, а на частоті 300 кГц дорівнює

γ = α + βj = (1,32 + j6,65 ) 1 / км.

Виходячи з отриманих результатів, перехідне загасання на ближньому кінці між коаксіальними ланцюгами визначимо за формулою:

- на частоті 60 кГц

= 20lg= 20lg= 94,5 дБ,

- на частоті 300кГц

= 20lg= 20lg= 129,9 дБ.

Таким чином, перехідне загасання на ближньому кінці між коаксіальними ланцюгами з ростом частоти збільшується на

35, 4дБ.

**Відповідь:**= 0,43 Ом / км. = 35,4 дБ.

**Практичне заняття 5**

**Розрахунок елементів конструкцій оптичних кабелів**

**Завдання 1**

На скільки змінилося допустиме навантаження на розтягнення конструкції оптичного кабелю ОК-50-2-5-8, якщо при виготовленні кабелю замінили матеріал центрального зміцнюючого матеріалу з ниток СВМ на кевлар. Діаметр центрального зміцнюючого елемента в обох випадках становить 3,7 мм при товщині полівінілхлоридної оболонки = 0,5 мм. Товщина фторопластовой трубки оптичного модуля = 0,5 мм. Товщина зовнішньої поліетиленової оболонки 1,5 мм. Зовнішній діаметр кабелю 13 мм. Коефіцієнт допустимого поздовжнього розтягування кабелю δ = 0,001.

**Розв’язок**

Спочатку визначимо площі поперечного перерізу елементів конструкції оптичного кабелю ОК-50-2-5-8 (розміри елементів конструкції кабелю знаходимо з довідника).

Конструкція кабелю ОК-50-2-5-8 має в центрі зміцнюючий силовий елемент діаметром 3,5 мм, що складається з нитки СВМ (синтетичної високомолекулярної пластмаси), поміщених у поливинилхлоридную оболонку товщиною 1 мм. Площа частини силового елемента, що складається тільки з ниток СВМ, дорівнює:

*.*

Площа полівінілхлоридної оболонки зміцнюючого силового елементу визначається як площа кільця:

.

Площа фторопластовой трубки 2,5 мм оптичного модуля також визначається як площа кільця:

Площа зовнішньої поліетиленової оболонки 13,0 мм оптичного кабелю визначається за аналогічною формулою:

Для подальшого вирішення необхідно врахувати, що механічне навантаження при розтягуванні конструкції ОК буде прикладатися у першу чергу до силових елементів і до оболонки, де

При додатку навантаження до оптичного модулю з кутом підйому (скручування) щодо центрального зміцнюючого елемента , величина коефіцієнта буде дорівнювати:

.

Визначимо допустимі значення розтяжки окремих компонент оптичного кабелю. Допустиме розтягнення силового елемента, що складається тільки з ниток СВМ, дорівнює:

.

Допустиме розтягнення силового елемента, що складається тільки з ниток кевлар, дорівнює:

.

Допустиме розтягнення полівінілхлоридної оболонки зміцнюючого силового елемента дорівнює:

.

Допустиме розтягнення фторопластової трубки оптичного модуля дорівнює:

.

Допустиме розтягнення зовнішньої поліетиленової оболонки оптичного кабелю дорівнює:

.

Загальне значення допустимого розтягування ОК-50-2-5-8 зі зміцнюючим силовим елементом з ниток СВМ дорівнює:

Загальне значення допустимого розтягування ОК-50-2-5-8 зі зміцнюючим силовим елементом з кевларових ниток дорівнює:

Відповідно допустиме розтягування кабелю ОК-50-2-5-8 зі зміцнюючим силовим елементом з ниток СВМ менше допустимого розтягування кабелю ОК-50-2-5-8 зі зміцнюючим силовим елементом з кевларових ниток на 1 410 Н.

Відповідь: ΔF = 1410 Н.

**Завдання 2**

На скільки зміниться радіус серцевини центрального зміцнюючого елементу (виготовленого з ниток СВМ) оптичного кабелю ОК-50-2-5-8, якщо потрібно отримати конструкцію з мінімально допустимим для лінійних кабелів розтягуючим зусиллям.

Зовнішній діаметр центрального зміцнюючого елемента в обох випадках становить 3,7 мм при товщині полівінілхлоридної оболонки = 0,5 мм. Товщина фторопластовой трубки оптичного модуля 0,5 мм. Товщина зовнішньої поліетиленової оболонки 1,5 мм. Зовнішній діаметр кабелю 13 мм. Коефіцієнт допустимого поздовжнього розтягування кабелю δ = 0.01.

**Розв’язок**

Спочатку визначимо нове значення площі серцевини центрального зміцнюючого елементу оптичного кабелю ОК-50-2-3-8, достатньої для витримування кабелем навантаження в 1200 Н (це мінімально допустиме навантаження для лінійних кабелів цього типу конструкцій). Використовуємо аналогічну нумерацію елементів конструкцій кабелю, як і в попередній задачі:

Визначимо нове значення радіуса серцевини центрального зміцнюючого елемента:

.

Таким чином, різниця радіусів серцевин центрального зміцнюючого елемента буде дорівнювати:

Відповідь: .

**Розрахунок параметрів оптичних кабелів**

**Завдання 1**

  Визначити число мод, що поширюються в оптичному волокні оптичного кабелю типу ОКК-50-01-4, при n2 = 1,490, Δ = 0,01. Нас скільки зміниться число мод при зміні діаметра серцевини ОВ в межах норми?

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання визначимо конструктивні параметри оптичного волокна, яке використовується у даному кабелі. У кабелі типу ОКК-50-01-4 використовується градієнтне оптичне волокно з діаметром відбивання оболонки = 125 ± 3 мкм і діаметром серцевини = 50 ± 3 мкм. Передача сигналів здійснюється на довжині хвилі λ = 1,3 мкм.

Спочатку визначимо значення коефіцієнта заломлення n1. Для цього скористаємося формулою:

== =1,505.

Число мод, що поширюються в оптичному волокні оптичного кабелю типу ОКК-50-01-4, визначимо за формулою:

===164.

Визначимо, на скільки зміниться число мод, при зміні діаметра серцевини ОВ у межах норми. Діаметр серцевини може змінюватися у межах 50 ± 3 мкм.

Тому мінімальне число мод дорівнюватиме:

===145.

Максимальне число мод будет дорівнювати:

===184.

Таким чином число мод, може змінитися на 39.

**Відповідь:** =164 мод. =145 мод.

**Завдання 2**

  Визначити, у скільки разів відрізняється величина нормованої частоти в оптичному волокні оптичного кабелю типу ОКК-50-01, від нормованої частоти в оптичному волокні оптичного кабелю типу ОКК-10-01 при n1 = 1,510, Δ = 0,01.

**Розвязок**

   Попередньо визначимо конструктивні параметри оптичних волокон, які використовуються в кабелях типу ОКК-50-01 і ОКК-10-01. У кабелі типу ОКК-50-01 використовується градієнтне оптичне волокно з діаметром відбивання оболонки який дорівнює 125 мкм і діаметром серцевини який дорівнює 50 мкм. У кабелі типу ОКК-10-01 використовується одномодовое оптичне волокно з діаметром відбивання оболонки 125 мкм і діаметром серцевини 10 мкм. Передача сигналів здійснюється на довжині хвилі λ = 1,3 мкм.

Спочатку визначимо значення коефіцієнта заломлення n2. Для цього скористаємося формулою:

==1,495  
 Величину нормованої частоти оптичного волокна кабелю типу ОКК-50-01 визначимо за формулою:

V==25,64  
 Визначимо величину нормованої частоти оптичного волокна кабелю типу ОКК-10-01:

V== 5,13.

Таким чином нормована частота оптичного волокна кабелю типу ОКК-10-01 менше нормованої частоти оптичного волокна кабелю типу ОКК-50-01 у 5 разів.

**Відповідь.** Нормована частота оптичного волокна кабелю типу ОКК-10-01 менше нормованої частоти оптичного волокна кабелю типу ОКК-50-01 у 5 разів.

**Завдання 3**

Визначити, на скільки відрізняється величина числової апертури в оптичному волокні оптичного від кабелю типу ОКК-50-01 від числової апертури в оптичному волокні оптичного від кабелю типу ОКК-50-01 від числової апертури в оптичному волокні оптичного від кабелю типу ОМЗКГ-10-1 . В обох типах оптичних волокон Δ = 0,01; для ОВ в кабелі ОКК-50-01 n\_1 = 1,505, для ОВ в кабелі ОМЗКГ-10-1 n\_1 = 1,510.

**Розв’язок**

Спочатку визначимо значення коефіцієнта заломлення n2 для ОВ оптичного кабелю типу ОМЗКГ-10-1. Для цього скористаємося формулою:

==1,495.

Для ОВ оптичного кабелю типу ОКК-50-01 значення коефіцієнта заломлення n2 також визначимо за формулою:

==1,49

Знайдемо значення числової апертури у ОВ оптичного кабелю типу ОКК-50-01:

NA === 0,2120.  
 Значення числової апертури у ОВ оптичного кабелю типу ОМЗКГ-10-1 дорівнюватиме:

NA=== 0,2123

**Відповідь:** ΔNA = 0,0003.

**Завдання 4**

На скільки зміниться критична частота в оптичних волокнах оптичного кабелю типу ОКЛ-01 при зміні діаметра серцевини в межах норми? Значення параметрів ОВ-n2 = 1,49,

Δ = 0,01, тип хвилі 〖HE〗12.

**Розв’язок**

      Попередньо визначимо конструктивні параметри оптичного волокна, що використовується у даному кабелі. У кабелі типу ОКЛ-01 використовується одномодовое оптичне волокно з діаметром відбивання оболонки = 125 ± 3 мкм і діаметром серцевини = 8,5 ± 3 мкм. Передача сигналів здійснюється на довжині хвилі λ = 1,55 мкм.

      Величина параметру Pnm = 3,832. Значення коефіцієнта заломлення n1 визначаємо за формулою:

== =1,505.

Для знаходження величини критичної частоти скористаємося формулою:

= = = 2,03\* Гц.

Визначимо на скільки зміниться критична частота при зміні діаметра серцевини ОВ у межах норми. Діаметр серцевини може змінюватися у межах 8,5 ± 1 мкм. Мінімальне значення критичної частоти дорівнюватиме:

= = =1,82\* Гц.

Максимальне значення критичної частоти дорівнюватиме:

= = = 2,30\* Гц.

Таким чином значення критичної частоти може змінюватися на 0,48\* Гц.

  Відповідь: Δ= 0,48\* Гц.

**Завдання 5**

Визначити на скільки зміниться критична довжина хвилі в оптичних волокнах оптичного кабелю типу ОКЛ - 01, якщо змінився тип хвилі, що передається, і замість E01 передається ? Значення параметрів ОВ – n2 = 1.504, Δ = 0,01.

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання використовуємо знайдені у 4-ій задачі конструктивні параметри ОВ оптичного кабелю типу ОКК-10-01. У кабелі типу ОКК-10-01 використовується одномодовое оптичне волокно з діаметром відбивання оболонки - 125 мкм і діаметром серцевини - 10 мкм.

      Величини параметрів для двох типів хвиль, знаходимо з табл. 3.3. Значення коефіцієнта заломлення n2 визначаємо за формулою:

==1,489.

Визначимо величину критичної довжини хвилі для типу хвилі E2 за формулою:

=\*==1,84мкм.

Знайдемо величину критичної довжини хвилі для типу хвилі:

=\*==1,81мкм.

Отже, значення критичної довжини хвилі зміниться на 0,03мкм.

      Відповідь: Δλ0 = 0,03 мкм.

**Практичне заняття 6**

**Розрахунок загасання в оптичних кабелях**

**Задача 1**

Визначити, на скільки зміняться власні втрати в оптичному волокні, якщо передача сигналів буде здійснюватися не в третьому, а в першому вікні прозорості. Параметри оптичного волокна:, Δ=0,01, .

Розв’язок:

Для вирішення цього завдання скористаємося декількома формулами і методичними вказівками. Попередньо визначимо значення коефіцієнта заломлення n1. Для цього скористаємося формулою:

Втрати енергії на поглинання при роботі на довжині хвилі 1,55 мкм (третє вікно прозорості) визначимо за виразом:

Втрати енергії на поглинання при роботі на довжині хвилі 0,85 мкм (перше вікно прозорості) будуть дорівнювати відповідно:

Втрати енергії на розсіювання при роботі у третьому вікні прозорості визначаємо за виразом:

Втрати енергії на розсіювання при роботі на довжині хвилі 0,85 мкм (перше вікно прозорості) будуть дорівнювати відповідно:

Власні втрати в третьому вікні прозорості знаходимо за виразом:

Власні втрати в першому вікні прозорості будуть дорівнювати відповідно:

Отже, при зміні передачі сигналів з третього вікна прозорості в перший, власні втрати зростуть на 1,61 дБ / км.

Відповідь: Δαс = 1,61 дБ/км.

**Завдання 2**

Визначити, яке додаткове загасання слід очікувати в кварцовому оптичному волокні, якщо по ньому хочуть передати сигнали з довжинами хвиль 2, 2,5 і 3 мкм.

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання скористаємося формулою, яка оцінює втрати у кварцевих волокнах світловодів в інфрачервоній області спектра. Виходячи з методичних вказівок, для подальших розрахунків виберемо наступні постійні коефіцієнти: C= 0,9 и

При передачі сигналу на довжині хвилі 2 мкм слід очікувати додаткове загасання в інфрачервоній області спектра величиною:

При передачі сигналу на довжині хвилі 2,5 мкм слід очікувати додаткові загасання в інфрачервоній області спектра величиною:

При передачі сигналу на довжині хвилі 3 мкм слід очікувати додаткове загасання в інфрачервоній області спектра величиною:

Відповідь:

**Завдання 3**

  Визначити, яке додатково загасання слід очікувати в кварцовому оптичному волокні, якщо при виготовленні кабелю ОКК-50-01-4 виникли додаткові микроизгибах. Параметри оптичного волокна і микроизгибов:

Δ= 0,0053,

**Розв’язок**

Для вирішення цієї задачі визначимо конструктивні параметри оптичного волокна, яке використовується у цьому кабелі. Знаходимо, що у кабелі типу ОКК-50-01-4 використовується градієнтне оптичне волокно з діаметром відбиваючої оболонки = 125 мкм і діаметром серцевини 50 мкм. Для подальшого рішення скористаємося методичними вказівками та наступною формулою:

**Відповідь:**

**Завдання 4**

  При зрощуванні будівельних довжин оптичного кабелю ОКК-10-01 в одному з волокон відбувся радіальний зсув торців на 1 мкм. Визначити, які при цьому виникли додаткові втрати.

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання попередньо визначимо конструктивні параметри оптичного волокна, що було використане у кабелі ОКК-10-01. У кабелі типу ОКК-10-01 використовується одномодове волокно з діаметром відбивання оболонки - 125 мкм і діаметром серцевини - 10 мкм.

Додаткові втрати при радіальному зміщенні на 1 мкм дорівнюватимуть:

lg = 10 lg

**Відповідь:**

**Завдання 5**

При з'єднанні световодного з'єднувального шнура в кроссовом оптичному шафі до лінійного оптичному кабелю ОКК-50-01виник кутовий зсув торців волокна на . Визначити додаткові втрати, які виникли при цьому зсуві. Параметри оптичного волокна: Δ = 0,01;

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання попередньо визначимо апертурний кут оптичного волокна. Скористаємося такими результатами розрахунку числової апертури ОВ в ОКК-50-01:

Знайдемо апертурний кут, як arcsin (NA):

Додаткові втрати у місці з'єднання оптичного волокна при кутовому зміщенні на 3° дорівнюватимуть:

lg *=* 10lg

**Відповідь:**

**Завдання 6**

За деякий час у роз'ємному з’єднувачі станційного оптичного кабелю ОКС-50-01 відбувся осьовий зсув торців одного оптичного волокна на 25 мкм. Визначити додаткові втрати, які виникли при цьому.

Параметри оптичного волокна: Δ = 0,01;

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання знаходимо, що у кабелі типу ОКС-50-01 використовується багатомодове оптичне волокно з діаметром відбивання оболонки d2 = 125 мкм і діаметром серцевини d1 = 50 мкм.

Попередньо визначимо значення коефіцієнта заломлення n1. Для цього скористаємося формулою:

Наступним етапом визначимо апертурний кут оптичного волокна. Використовуючи описану раніше методику, знайдемо значення числової апертури в ОВ оптичного кабелю типу ОКС-50-01:

Знайдемо апертурний кут, як arcsin (NA):

Додаткові втрати при осьовому зміщенні торців оптичного волокна на 25 мкм дорівнюватимуть:

lg = 10 lg

**Відповідь:**

**Практичне заняття 7**

**Розрахунок дисперсії в оптичних кабелях**

**Завдання 1**

На межстанційній ВОЛЗ прокладені два типи кабелів ОК-50-2 і ОКК-50-01. Визначити, у скільки разів відрізняється розширення імпульсів в цих кабелях. Довжина ВОЛЗ дорівнює 9 км; n2 = 1,490, Δn = 0,015.

**Розвя’язок:**

Попередньо визначимо значення коефіцієнта заломлення n1 і відносне співвідношення показників заломлення - Δ. Через різницю показників заломлення визначимо n1:

Визначимо відносне значення показника заломлення оптичного волокна:

В оптичних кабелях, виготовлених на багатомодових волокнах, найбільший внесок у розширення імпульсів вносить модова дисперсія, тому у подальших розрахунках будемо враховувати тільки цей фактор.

Розрахуємо дисперсію в ОК-50-2. У кабелі типу ОК-50-2 використовується багатомодове ступеневе оптичне волокно. Так як довжина зв'язку мод для ступеневого волокна дорівнює 5 км:

.

Розрахуємо дисперсію в ОКК-50-01. У кабелі типу ОКК-50-01 використовується градієнтне оптичне волокно. Так як довжина зв'язку мод для градієнтного волокна дорівнює 10 км:

Отже, розширення імпульсів в ОКК-50-01 в 150,7 рази менше, ніж в кабелі ОК-50-2.

**Відповідь**: розширення імпульсів в ОКК-50-01 в 150,7 рази менше, ніж в кабелі ОК-50-2.

**Завдання 2**

Визначити, у скільки разів зміниться величина дисперсії сигналу в ВОЛЗ, побудованої на основі кабелю ОКЛ-01, якщо замінити джерело випромінювання з лазерного на світлодіодний (з λ = 0,85 мкм). Довжина ВОЛЗ дорівнює 63 км.

**Розв’язок**

Так як ОКЛ-01 містить одномодові волокна, що працюють на довжині хвилі 1,55 мкм, то необхідно буде розрахувати хроматичну дисперсію, яка, в свою чергу, ділиться на матеріальну хвилевідну і профільну.

Дисперсія при роботі лазерного джерела випромінювання буде дорівнювати:

Дисперсія при світлодіодному джерелі дорівнює:

Дисперсія (волноводная) при роботі лазерного джерела випромінювання буде дорівнювати:

Дисперсія при світлодіодному джерелі дорівнює:

Дисперсія (профільна) при роботі лазерного джерела випромінювання буде дорівнює:

Дисперсія при світлодіодному джерелі дорівнює:

Результуюче значення дисперсії при роботі лазерного джерела випромінювання дорівнює:

Результуюче значення дисперсії при світлодіодному джерелі дорівнює:

Отже, дисперсія сигналу зросте у 5971 разів.

**Відповідь**: дисперсія сигналу при роботі лазерного джерела у 5971 разів менше, ніж при роботі світлодіодного джерела.

**Розрахунок довжини регенераційної ділянки**

**Завдання 1**

Визначити довжину регенераційної ділянки ВОЛЗ, лімітовану загасанням. ВОЛЗ побудована на основі кабелю типу ОКЛ-01-0,3, що працює у 3-му "вікні прозорості", з використанням апаратури "Сопка - 4М". Оцінити залежність довжини підсилювальної ділянки від зміни втрат на нероз'ємних з’єднувачах - 0,1; 0,3; 0,5; дБ. Втрати на вводі (виведенні) - 2 дБ. Енергетичний запас системи 6 дБ.

**Розв’язок**

У кабелі типу ОКЛ-01-0,3 використовується одномодовое оптичне волокно з коефіцієнтом загасання 0,3 дБ / км, енергетичний потенціал системи передачі «Сопка - 4М» Е = 38 дБ, будівельна довжина кабелю 2000м.

Визначимо довжину регенераційної ділянки ВОЛЗ при першому значенні втрат у нероз'ємних з’єднувачах:

При другому значенні втрат у нероз'ємних з’єднувачах довжина регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює:

При третьому значенні втрат у нероз'ємних з’єднувачах довжина регенераційної ділянки ВОЛЗ дорівнює:

Отже, при збільшенні втрат у нероз'ємних з’єднувачах від 0,1 до 0,5 дБ, довжина регенераційної ділянки знижується на 31,2 км.

**Відповідь**: довжини регенераційних ділянок при втратах у нероз'ємних з’єднувачах 0,1; 0,3; 0,5 дБ дорівнюють, відповідно 85,7, 66,7 і 54,5 км.

**Завдання 2**

Визначити довжину регенераційної ділянки ВОЛЗ, лімітовану дисперсією. ВОЛЗ побудована на основі кабелю типу ОКК-50-01, з використанням апаратури «Сопка-3». Оцінити залежність довжини підсилювальної ділянки від зміни ширини смуги пропускання оптичного волокна. Ширина смуги пропускання оптичного волокна використовуваного у кабелі: 800 і 500 МГЦ км.

**Розв’язок**

У кабелі типу ОКК-50-01 використовується градієнтне оптичне волокно, а швидкість передачі апаратури «Сопка - 3» дорівнює 34Мбіт / с. Для вирішення цього завдання необхідно побудувати графік зміни ширини смуги пропускання даної ВОЛЗ від довжини траси.

Розрахуємо зміну ширини смуги пропускання даної ВОЛЗ від довжини траси. Розрахунки проводяться за кожними 10 км траси: 10 - 60 км. Довжина усталеного режиму передачі для градієнтного волокна дорівнює 10 км. Розрахункові дані для ВОЛЗ, побудованої на основі ОВ з шириною смуги пропускання 800 МГц км, будуть дорівнювати:

Розрахункові дані для ВОЛЗ, побудованої на основі ОВ з шириною смуги пропускання 500 МГц км, будуть дорівнювати:

Побудуємо графіки зміни ширини смуги пропускання даної ВОЛЗ від довжини траси.

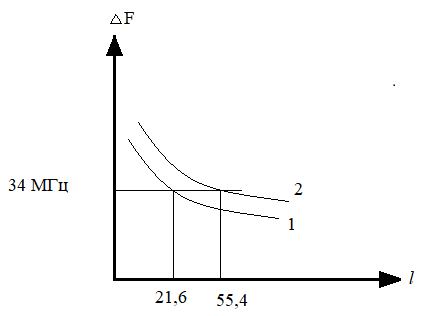


Рисунок 1.1 - Зміни ширини смуги пропускання ВОЛЗ

Перша крива відповідає варіанту ВОЛЗ, побудованої на основі ОВ з шириною смуги пропускання 500 МГц км, а друга крива відповідно ОВ з шириною смуги пропускання 00 МГц км.

При роботі апаратури «Сопка - 3» довжина регенераційної ділянки в першому випадку дорівнюватиме 21,6 км, а в другому випадку 55,4 км.

Таким чином довжина регенераційної ділянки знизиться на 33,8 км.

**Відповідь**: = 33,8 км.

**Практичне заняття 8**

**Розрахунок небезпечного впливу високовольтних ліній передачі на ланцюги зв'язку**

**Завдання 1**

Визначити небезпечний магнітний вплив лінії електропередачі змінного струму (частотою 50 Гц) на ланцюги кабелів зв'язку і необхідність у захисних заходах, при наступних вихідних даних:

- кабель МКСБ 4 \* 4 \* 1,2;

- еквівалентна довжина ділянок зближення:

l=1км, l = 0,5 км, = 0,6км, l = 0,7км,

l = 0,9км, l =1км;  
- ширина зближення між ПЛ та ЛЗ по окремих дільницях:

= 80 м, = 150 м,= 350 м,= 120 м,= 300м,

= 100 м,= 210 м,= 450 м;  
         - струм короткого замикання ПЛ -= 3000А;  
         - питома провідність землі - = 10\* См/м;

 - опір металевих поверхонь кабелю постійним струмом - = 2,16 Ом/км;  
  - індуктивність зовнішніх металевих поверхонь кабелю зв'язку L=5\* Гн/км;  
 - система передачі К-60П з дистанційним живленням підсилювачів постійним струмом по системі «провід - провід».

**Розв’язок**

Для вирішення цього завдання спочатку визначимо еквівалентну ширину зближення для кожної ділянки.

=== 115 м;  
=== 250 м;  
=== 205 м  
=;  
== 173 м;  
== 330 м.

Визначимо по номограмі значення модуля коефіцієнта взаємної індуктивності між однопровідними ланцюгами ВЛ і ЛЗ (на частоті 50 Гц) для =10\* См/м і перемножимо кожне значення на еквівалентні довжини ділянок зближення. Отрмані результати магнітного впливу лінії електропередачі на кабелі зв’язку, занесемо у таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 - Результати магнітного впливу лінії електропередачі на кабелі зв’язку

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| , м | 115 | 250 | 205 | 190 | 173 | 350 |
| , мкГн/км | 440 | 300 | 340 | 350 | 360 | 250 |
| ˖l,мк Гн | 440 | 150 | 204 | 245 | 324 | 250 |

Сумарне значення магнітного впливу дорівнюватиме:

Визначимо модуль ідеального значення коефіцієнта екранування зовнішніх металевих поверхонь виходячи з виразу:

==== 0,809.

Визначимо подовжню ЕРС, що створює небезпечний магнітний вплив високовольтної лінії змінного струму, за формулою:

E=ω\*\*= 6,28\*50\*3000\*0,809\*1613\*=1229В.

Для кабелю МКСБ 4\*4\*1,2 електрична міцність ізоляції між жилами і оболонкою =1800 В, а напруга ДП = 475 В. Знаходимо значення величини допустимої поздовжньої ЕРС:

=-= 1800 - = 1464 В.

**Відповідь**: небезпечний магнітний вплив ліній електропередачі змінного струму на ланцюги кабелів зв'язку становить 1229 В, що не перевищує норм, тому відносити кабель від траси не потрібно.

**Завдання 2**

Визначити небезпечне гальванічне вплив лінії електропередачі змінного струму на ланцюгу кабелів зв'язку і з'ясувати необхідність у захисних заходах, за таких умов:

- кабель МКСБ 4 \* 4 \* 1,2;

-= 100 м, = 200 м;   
 - l = 10 км;

- струм короткого замикання ПЛ -- = 20 кА;  
- питома провідність землі - = 10\* См/м;  
- опір металевих покривів кабелю постійного струму:

= 2,16 Ом/ == 5 Ом;

- індуктивність зовнішніх металевих покривів кабелю зв'язку

L= 5\* Гн/км;

- система передачі К-60П з дистанційним живленням підсилювачів постійним струмом по системі « провід-провід»

**Розв’язок**

         Спочатку визначимо модуль реального КЗД металевих покривів з виразу:

==

== 0,887.

Визначимо значення модуля коефіцієнта поширення струмів у землі γ за формулою:

== 6,28\*, .

Небезпечний гальванічний вплив лінії електропередачі змінного струму на ланцюги кабелів зв'язку визначається за виразом:

=+U()-U(-U(\*(ln1230 В.

Отримане значення показує, що небезпечний гальванічний вплив лінії електропередачі змінного струму на ланцюги кабелю МКСБ 4 \* 4 \* 1,2, що працює з системою передачі К-60П-4, становить 1230 В, що вище допустимого значення, тому потрібно віднесення траси.

Згідно табл.6, норма при системі передачі К-60П-4 при системі ДП,, провід-провід,, становить 75 В. Норма на металевих покривах дорівнюватиме:

=

Визначимо критичну ширину ділянки зближення за виразом:

=

**Відповідь**: небезпечний гальванічний вплив лінії електропередачі змінного струму на ланцюги кабелів зв'язку становить 1225 В, що вище допустимого значення. Трасу слід віднести на 1518 м.

**Список літератури**

1. Закон України «Про телекомунікації», прийнятий ВР України в 2003 р.
2. С. К. Абрамов. Лінії передачі : навч. посіб. − Харків: Вид−во ХАІ, 2009. – 70 с.
3. Гроднев И. Линии связи : учебник для вузов.

И. И. Гроднев, С. М. Верник. – Москва : Радио и связь.1988. − 344 с.

1. Гроднев И. Теория направляющих систем святи.

И. И. Гроднев, В. О. Шварцман. – Москва : Связь, 1978.

– 296 с.

1. Коаксиальные и высокочастотные симметричные кабели связи : справочник / А. С. Воронцов, А. П. Маркелов и др. – Москва : Радио и связь, 1994. – 312 с.
2. Гроднев И. Волоконно-оптические линии связи : учебное пособие для вузов. И. И. Гроднев. – Москва : Радио и связь, 1990. – 224 с.
3. Каток В. Б. Волоконно-оптичні системи зв’язку :

В. Б. Каток. − Киев : ВЕЛАР, 1990. – 498 с.

Навчальне видання

**4543 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних робіт із дисципліни

**«Напрямні системи електричного та оптичного зв’язку»**

для студентів спеціальності

172 *«Телекомунікації та радіотехніка»*

денної форми навчання

Відповідальний за випуск А. С. Опанасюк

Редактор Н. З. Клочко

Комп’ютерне верстання А. І. Новгородцева

Формат 60х84/16. Ум. друк. арк. 4,12. Обл.-вид. арк. 3,97.

Видавництво і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб’єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.