

*А.М. БОЙКО*, студент, НТУ «ХП»;

*А.В. БЕЗПРОЗВАННИХ*, д-р.техн.наук, проф., НТУ «ХП»

## ОБҐРУНТУВАННЯ ТОВЩИНИ ІЗОЛЯЦІЇ ВИТИХ ЕКРАНОВАНИХ ПАР СТРУКТУРОВАНИХ КАБЕЛЬНИХ СИСТЕМ

Выполнен анализ влияния экрана на параметры передачи экранированных витых пар 5е и 7 категории. На основе числовых расчетов электрического поля экранированного витого пара категории 7 обґрунтована толщина трехслойной изоляции, что обеспечивает параметры передачи в пределах нормируемых значений и соответствующую гибкость кабеля.

Виконано аналіз впливу екрану на параметри передачі екранованих витих пар 5е та 7 категорії. На основі числових розрахунків електричного поля екранованої виті пари категорії 7 обґрунтована товщина трьохшарової ізоляції, що забезпечує параметри передачі в межах нормованих значень та відповідну гнучкість кабелю.

The analysis of influence of the screen on parameters of transfer of the shielded twisted pairs a category 5e and 7-th is executed. On the basis of numerical calculations of an electric field of the shielded twisted pair a category 7 the thickness of three-layer isolation providing parameters of transfer in the normalized range and corresponding flexibility is proved.

**Вступ.** Стрімкий ріст телекомунікаційних цифрових технологій спонукав виробників кабельної продукції освоїти нові види кабелів та матеріалів для їх виробництва. Суттєвих змін зазнали традиційні симетричні кабелі. В поняття вита пара вкладається спроможність кабелю забезпечити передачу цифрових сигналів з відповідною швидкістю в залежності від категорії цієї пари.

Поява структурованих кабельних систем стала поворотним пунктом у розвитку мережевої галузі. Рішення на основі виті пари застосовуються в основному в горизонтальній підсистемі. Горизонтальна підсистема будується на витих парах категорій 5 та 5е, 6 та 7. При цьому кабелі 5 – 6 категорій можуть бути як неекранованими, так і екранованими. Ізоляція в таких кабелях – звичайний поліетилен. Кабелі категорії 7 виготовляються тільки в екранованому виді: кожна пара в індивідуальному екрані та загальний екран для всіх чотирьох пар (позначається як S/STP - Shielded Twisted Pair). Кабелі мають кращі характеристики по захисту від зовнішніх електромагнітних перешкод та електромагнітного випромінювання. Широка смуга робочих частот кабелів категорії 7 – до 600 МГц – зумовлює використання ізоляції з меншими втратами на основі спіненої ізоляції.

Наявність додаткових металевих екранів в конструкції виті пари обумовлює зростання електричного опору провідників за рахунок ефекту

близькості та електричної робочої ємності, і, взагалі, коефіцієнту згасання.

**Ціллю роботи є аналіз впливу робочої ємності витих екранованих пар на коефіцієнт згасання та обґрунтування товщини ізоляції на основі розрахунків електричного поля.**

Кабелі на основі витих пар з мідними провідниками широко застосовуються в структурованих кабельних системах для передачі електричних сигналів. Кабель містить одну або декілька скручених з різними кроками витих пар провідників і за чинною класифікацією відноситься до симетричних. Окрім витих пар він може мати декілька додаткових захисних, екрануючих і технологічних елементів, які утворюють сердечник. Кожен провідник забезпечується ізоляцією з суцільного або спіненого діелектрика. Використання останнього трохи знижує питому масу кабелю й значно поліпшує його частотні властивості, однак піднімає собівартість готового виробу. На сердечник накладається захисна оболонка у вигляді шланга, що більшою чи меншою мірою оберігає виті пари від зовнішніх дій і зберігає структуру сердечника під час прокладання та експлуатації.

Однією з основних характеристик витих пар є коефіцієнт згасання. Для високочастотного діапазону можна записати:

$$\begin{aligned} \alpha &= 8,69 \cdot \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) = \\ 8,69 \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{\omega C \operatorname{tg} \delta}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right) &= \quad , \quad (1) \\ &= 8,69 \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{\omega \operatorname{tg} \delta}{2} \sqrt{CL} \right) = \\ 8,69 \sqrt{C} \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{1}{L}} + \frac{\omega \operatorname{tg} \delta}{2} \sqrt{L} \right) &, \quad \text{дБ} / \text{м} \end{aligned}$$

де R – активний опір виті пари (сума опорів прямого та зворотного провідників (шлейфу), Ом/м; C – робоча ємність пари, Ф/м; L – загальна індуктивність пари (в високочастотному діапазоні визначається між провідниковою), Гн/м; G – активна провідність ізоляції, См/м, tgδ - тангенс кута діелектричних втрат ізоляції.

Згасання зростає зі збільшенням частоти. Воно має дві складові: втрати в металі та втрати в діелектрику (ізоляції). На частотах до декількох десятків МГц превалює перша складова, обумовлена активним опором (в основному втрати на поверхневий ефект та ефект близькості, втрати в металевому екрані). Зменшити її можна тільки за рахунок більшого діаметру провідників та більшої відстані між ними. Втрати в діелектрику істотно проявляються на більш високих частотах і можуть бути дещо знижені за рахунок зменшення робочої ємності (збільшення відстані між провідниками або зменшення їхнього діаметра) або

зменшення  $\text{tg}\delta$  ізоляції (застосування діелектрика із кращими високочастотними властивостями).

Враховуючи, що робоча ємність симетричної пари визначається як:

$$C = \chi \frac{\pi \varepsilon_0 \varepsilon_{\text{екв}}}{\ln\left(\frac{a-r}{r}\right)}, \quad \Phi / \text{м} \quad (2)$$

де  $\chi$  – коефіцієнт скрутки,  $\varepsilon_0$  – електрична стала,  $\varepsilon_{\text{екв}}$  – еквівалентна діелектрична проникність матеріалу ізоляції;  $a$  – відстань між прямим та зворотним провідниками,  $r$  – радіус струмопровідної жили.

Формула (1) може бути записана у вигляді:

$$\alpha = 8.69 \dots \sqrt{C} \left( \frac{R}{2} \sqrt{\frac{1}{L}} + \frac{\omega \text{tg}\delta}{2} \sqrt{L} \right) \\ = 8.69 \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} \cdot \sqrt{\varepsilon_{\text{екв}}} \left[ \frac{R}{2} \frac{\pi}{\ln\left(\frac{r+2\Delta_{\text{із}}}{r}\right)} + \frac{\omega \mu_0 \text{tg}\delta}{2} \right], \quad \text{дБ} / \text{м} \quad (3)$$

де  $\Delta_{\text{із}}$  – товщина ізоляції.

Розрахунки показують, що варіації товщини ізоляції, тобто робочої ємності, в більшій мірі впливають на коефіцієнт згасання в порівнянні з активним опором при тому самому діаметрі струмопровідної жили. На рис. 1 наведено залежності активного опору (крива 1) неекранованої виті пари категорії 5e та його складових (2 – складова, яка враховує збільшення опору за рахунок скін-ефекту при рості частоти; 3 – складова, яка враховує збільшення активного опору за рахунок ефекту близькості при рості частоти) в залежності від товщини ізоляції, яка визначає відстань між прямим та зворотним провідниками при діаметрі струмопровідних жил 0,511 мм: I – товщина ізоляції дорівнює радіусу струмопровідної жили; II – товщина ізоляції складає 80 % від радіусу струмопровідної жили; III – товщина ізоляції складає 120 % від радіусу струмопровідної жили

Видно, що зміна товщини ізоляції впливає на складову опору, що обумовлена ефектом близькості. При цьому загальний опір практично не змінюється в розглянутому діапазоні товщини суцільної ізоляції. Складова, обумовлена ефектом близькості, майже на порядок менше опору за рахунок поверхневого ефекту.

Товщина ізоляції в значній мірі впливає на робочу ємність виті пари, коефіцієнт згасання та хвильовий опір (рис. 2 - 3 відповідно).

При товщині ізоляції, рівній радіусу струмопровідної жили (крива I), робоча ємність становить 54 пФ/м; при товщині ізоляції, рівній 120 % від радіусу струмопровідної жили (крива III), робоча ємність становить 48 пФ/м, при товщині ізоляції, рівній 80 % від радіусу струмопровідної жили (крива II), робоча ємність становить 64 пФ/м при тому самому матеріалі ізоляції

(діелектричної проникності). Аналіз розрахунків показує, що збільшення товщини ізоляції (крива III), призводить до зменшення коефіцієнту згасання та хвильового опору. Причому при товщині ізоляції, рівній 120 % від радіусу струмопровідної жили, хвильовий опір виходить за нижню границю значень. Таким чином, діапазон робочих ємностей кабелів на основі витих пар становить 48 пФ/м - 56 пФ/м для забезпечення параметрів передачі: коефіцієнту згасання та хвильового опору в межах нормованих значень. **Відповідна товщина ізоляції дорівнює або на 20 % більше діаметру струмопровідної жили.**

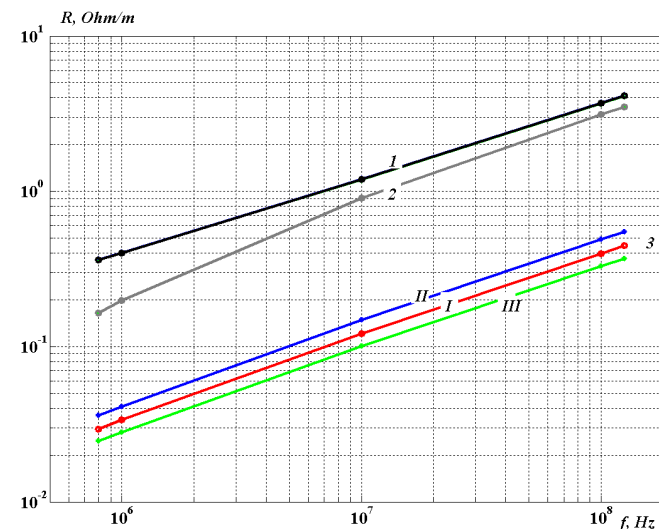


Рис. 1 – Вплив товщини суцільної ізоляції на активний опір виті пари категорії 5e

#### Вплив екрану на параметри передачі витих екранованих пар

Кабелі категорії 5e, спектр робочих частот яких досягає 125 МГц, виготовляються неекранованими та екранованими. При цьому екран – зовнішній для всіх чотирьох пар (так звані FTP виті пари – з екраном у вигляді фольги) [1 - 7].

Аналіз літературних джерел показує [16, 17], по-перше, що для екранованих кабелів FTP відзначаються більші значення активних опорів провідників (рисунок 1) порівняно з неекранованими при тих же діаметрах провідників ( $2r = 0,51$  мм) і позитивних допусках на діаметри ( $\Delta = \dots = 0,005$  мм). По-друге, робочі ємності екранованих кабелів з поліетиленовою ізоляцією мають більші значення (рис.2) і знаходяться, практично, на верхній границі нормованих значень ємності  $C_{\text{нор}} \leq 56$  пФ/м (рис. 4). Тому для зменшення ємності екранованих кабелів і

наближення значень до ємності неекраниваних кабелів необхідно збільшити товщину ізоляції.

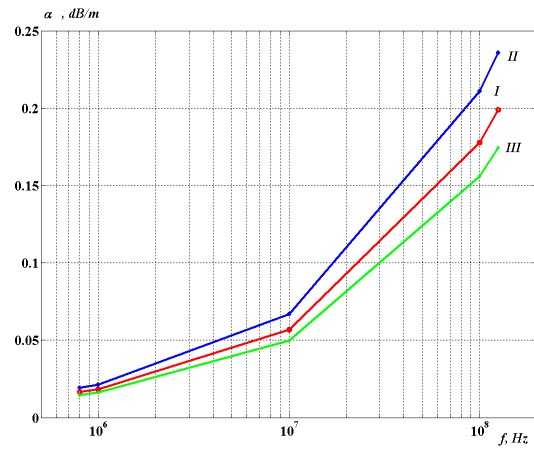


Рис. 2 – Вплив товщини суцільної ізоляції на коефіцієнт згасання виті пари категорії 5е

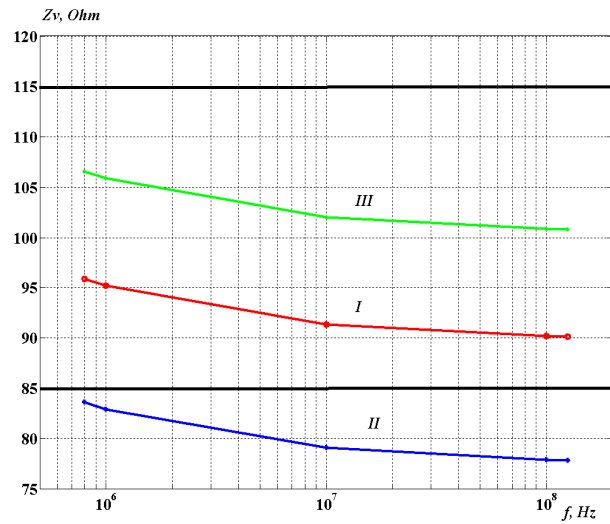
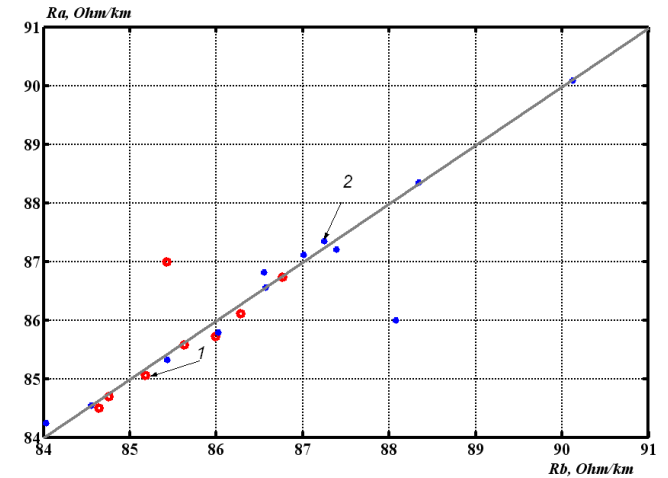


Рис. 3 – Вплив товщини суцільної ізоляції на хвильовий опір виті пари категорії 5е



1 – неекраниваних; 2 – екраниваних

Рис. 4 – Кореляційна залежність між активними опорями прямого та зворотного провідників витих пар категорії 5е

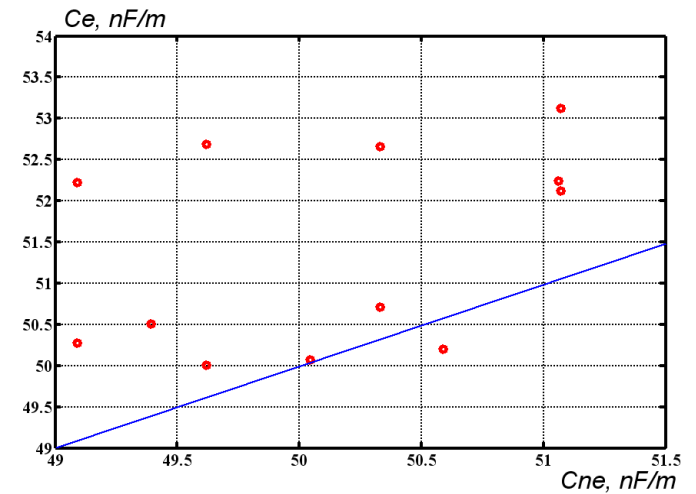


Рис. 5 – Кореляційна залежність між електричними робочими ємностями неекраниваних (вісь абсцис) та екраниваних (вісь ординат) витих пар категорії 5е

Діаметр ізольованих жил екраниваних витих пар слід збільшувати в середньому на 20 % в порівнянні з неекраниваними. Для кабелів категорії 5е цей засіб здійснений, тому що це несуттєво впливає на механічні показники мережевих кабелів горизонтального прокладання, одним з головних показників є висока гнучкість при прокладці.

В протилежному випадку більші значення робочої ємності екранованих пар призведуть до підвищених значень коефіцієнту згасання

Аналіз формули (1) показує: збільшення ємності на 20 % призводить до зростання втрат енергії на 9,5 % в діапазоні високих робочих частот за рахунок втрат в ізоляції. В результаті дальність передачі сигналів зменшується на  $(100 - 100/1.095) = 100 - 91 \approx 10$  метрів. Це суттєво при загальній довжині 100 метрів кабельної лінії горизонтальної підсистеми СКС.

Виявляється, що при збільшенні товщини ізоляції (робоча ємність екранованої пари має ті ж самі значення, що і неекранованої) коефіцієнт згасання екранованих кабелів стає навіть меншим, ніж у неекранованих на верхній границі робочих частот (рис.6). Це обумовлено впливом магнітного поля екрану. В області низьких частот (до 4 МГц) загальний екран не впливає на індуктивність пари. При більш високих частотах (понад 4 МГц)

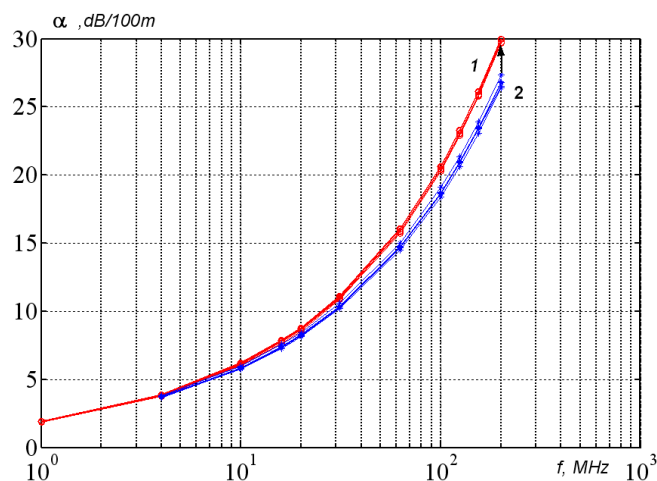


Рис.6 – Залежність коефіцієнта згасання неекранованого (1) та екранованого (2) мережевого кабелю категорії 5

екран починає працювати як короткозамкнений виток. Індуктивність збільшується і втрати в металевих частинах (перша складова в формулі (1) відповідно зменшуються. Втрати в металевих частинах є визначальними. Втрати в діелектрику становлять всього від 2% до 20 % від загальних втрат на частоті 1 МГц та на верхній робочій частоті 125 МГц кабелю категорії 5e відповідно.

Специфікація на кабель 7-ї категорії затверджена міжнародним стандартом ISO 11801: швидкість передачі даних до 100 Гбіт/с, частота сигналу, що пропускається, до 600 - 700 МГц. Кабелі цієї категорії мають

загальний екран і екрани навколо кожної пари. Збільшення спектру частот, який передається по кабелю, пов'язано зі збільшенням діаметру струмопровідної жили (з 0,511 мм до 0,64 мм відповідно). Вибір загальної конструкції ізоляції потребує врахування електричних та економічних факторів. Механічні фактори, які є суттєвими для кабелів на основі витих пар через багаторазові згинання кабелю в процесі монтажу, враховані на основі досвіду, відображеного в рекомендованій товщині ізоляції. Останні відображають той факт, що чим більший діаметр жили, тим більшою повинна бути товщина ізоляції.

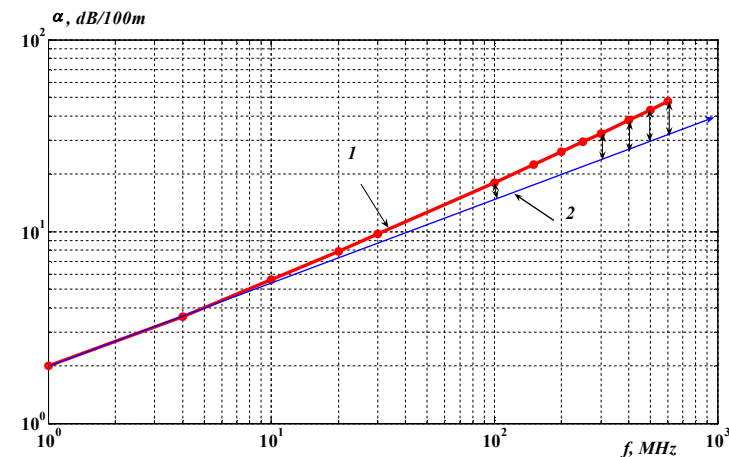


Рис.7– Залежність коефіцієнта згасання екранованого мережевого кабелю категорії 7 в подвійному логарифмічному масштабі:  
1 – загальні втрати, 2 – втрати в металевих частинах

На частоті 100 МГц втрати в діелектрику складають 20 %, на частоті 200 МГц – 30%, на частоті 500 МГц – 43 %, на частоті 600 МГц – майже 50 %. Таким чином, від електричних властивостей ізоляції кабелів залежить загальний коефіцієнт згасання.

Ці властивості визначаються діелектричною проникністю  $\epsilon$ , яка характеризує ступінь поляризації зарядів в ізоляції при дії на неї електричного поля; та тангенсом кута діелектричних втрат  $\text{tg}\delta$  ізоляції.

Зменшення втрат в ізоляції можливо за рахунок застосування спіненої фізичним методом поліетиленовою ізоляції, яка в порівнянні з суцільною має менше значення діелектричної проникності та тангенсу кута діелектричних втрат.

### Електричне поле витної пари

Екранована вита пара містить три електроди - дві жили і екран: 1, 2, е - електроди "жила 1", "жила 2", "екран" відповідно. Всередині екранованої витної пари є два типи проміжків - "жила-жила" та "жила - екран", що містять як твердий діелектрик, так і повітряні прошарки

у силу нещільного прилягання екрана до ізолюваних жил і жил одна до одної. Таким чином, між електродами утворюються три часткові ємності:  $C_{1-e}$  (d) – ємність першої жили на екран;  $C_{2-e}$  (d) – ємність другої жили на екран;  $C_{12}$  (d) – взаємна ємність між жилами.

Часткові ємності на екрані включені послідовно і в ідеальному випадку дорівнюють одна одній. Взаємна ємність між жилами  $C_{12}$  з частковими ємностями на екран  $C_{1-e}$ ,  $C_{2-e}$  включена паралельно. Таким чином, робоча ємність екранованої витної пари визначається за формулою послідовно-паралельного з'єднання:

$$C = C_{12} + \frac{C_{1-e} \cdot C_{2-e}}{C_{1-e} + C_{2-e}} = C_{12} + \frac{1}{2} C_{1-e} \quad (4)$$

Часткові ємності екранованої пари знаходяться на основі розрахунку електричного поля.

Розрахунки та аналіз електричного поля екранованої витної пари спираються на ряд допущень.

1. Нехтування гвинтовою поверхнею екранованої витної пари. Як було відзначено вище, крок скрутки і радіус вигину значно перевищують поперечні розміри екранованої витної пари. Тому поле екранованої витної пари можна вважати однаковим у кожному поперечному перерізі, тобто плоско паралельним.

2. Поверхні жил і ізоляції жил прийняті круговими циліндричними. Геометрія екрана: кругова циліндрична форма.

3. Довжина ділянки з поверхневим зарядом повинна бути менше відстані до ділянки спостереження поля. Для забезпечення цієї умови вводяться невеликі повітряні зазори між ізолюваними жилами (товщиною близько 10 мкм). Вони практично не впливають на інтегральні характеристики - ємності проміжків, але дозволяють уникнути збігу вузлів, через які може різко зростати локальна похибка обчислень.

Розрахунок виконаємо методом вторинних зарядів, тобто від розрахунків поля у первинній задачі перейдемо до розрахунку поля у вакуумі [18, 19]. Розрахункова модель містить поверхні, що збігаються із границями розділу середовищ вихідного завдання. На них варто розташувати заряди (так звані, вторинні заряди) і підібрати розрахункову густину  $\sigma$ , Кл/м<sup>2</sup> так, щоб виконувалися дві умови:

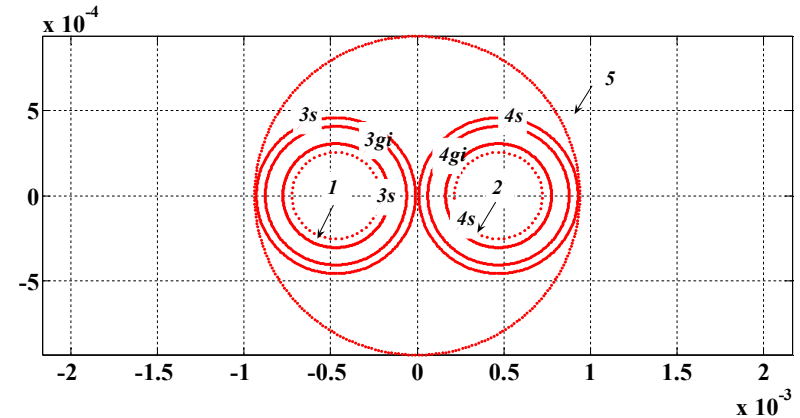


Рис. 8 – Модель із круговими границями розділу середовищ для розрахунку електричного поля екранованої витної пари з трьохшаровою ізоляцією : 1,2 - жили; 3 - екран; 4,5 - поверхні ізоляції жил

а) на поверхнях електродів, повинні досягатися задані потенціали  $U_i$  (інтегральне рівняння Фредгольма першого роду):

$$\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \int \sigma_j \cdot \ln\left(\frac{r_{0j}}{r_{ij}}\right) \cdot dl_j = U_i, \quad (5)$$

де  $i$  – номер вузла, у якому шукаються характеристики поля;  $j$  - номер вузла, у якому розташований заряд;  $r_{ij}$  – відстань між ділянками  $i$  та  $i$  ;  $r_{0j}$  – відстань від ділянки  $j$  до точки  $O$ , потенціал якої можна прийняти рівним нулю ;  $\sigma_j$  – густина вторинного заряду в точці  $j$ ;  $dl_j$  – довжина нескінченно малої ділянки із центром у точці  $j$ ;  $\epsilon_0$  - електрична постійна

(  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м);

б) на поверхнях границь розділу діелектричних середовищ повинні виконуватися умови рівності нормальних складових вектора електричного зміщення:

$$\epsilon_2 \cdot (E_n - \frac{\sigma_i}{2\epsilon_0}) = \epsilon_1 \cdot (E_n + \frac{\sigma_i}{2\epsilon_0}), \quad (6)$$

де  $E_n$  – нормальна складова напруженості поля в точці  $i$ , створена всіма зарядами, окрім того, що розташований у цій точці;  $\sigma_i / (2\epsilon_0)$  – нормальна складова напруженості поля в точці  $i$ , створена саме зарядом, розташованим у цій точці.

Розрахунок поля зводиться до рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), перші  $N_e$  рядків якої впливають із інтегрального рівняння Фредгольма першого роду (ІРФ I) для потенціалів

на поверхнях електродів, а наступні  $N_d$  рядків - з ІУФ другого роду (ІУФ II) для стрибків нормальної складової напруженості поля на границях розділу діелектричних середовищ.

Знайдені напруженості поля та густина зарядів при заданому потенціалі дозволяють знайти часткові ємності: взаємну ємність між жилами  $C_{12}$  та ємності на екран  $C_{1-e}$ ,  $C_{2-e}$ , загальну робочу ємність екранованої пари за (4).

Представимо результати розрахунків в виді так званих розгортки напруженості - залежності напруженості в даному вузлі від криволінійної координати до вузла, який прийнято за початок відліку.

На рис.9 наведено розгортки напруженості електричного поля екранованої вити пари категорії 7 в разі суцільної поліетиленової ізоляції при товщині, яка дорівнює радіусу струмопровідної жили.

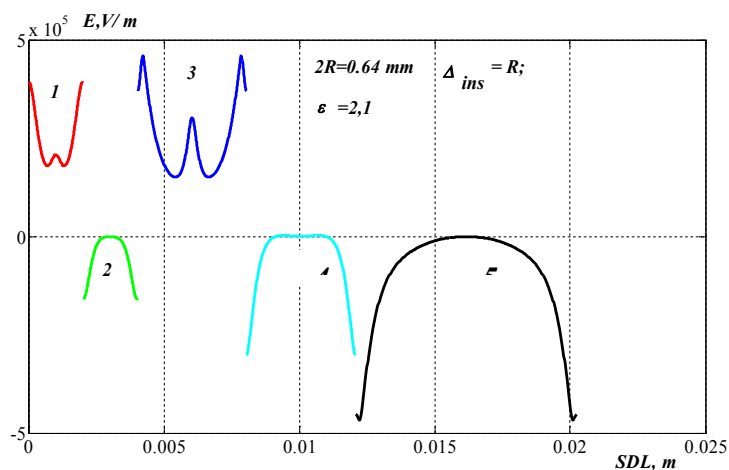


Рис. 9 – Розгортка напруженості електричного поля по поверхнях струмопровідних жил (1, 2), ізоляції (3,4) та екрану (5) екранованої вити пари

Для зменшення робочої ємності в разі суцільної ізоляції необхідно збільшувати товщину ізоляції. Але це призводить до збільшення масо-габаритних розмірів, зменшення гнучкості кабелю. Найбільш придатним способом є застосування трьохшарової поліетиленової ізоляції: перший шар, який наноситься на струмопровідну жилу, - суцільна ізоляція (3s, 4s); другий – спінена ізоляція (3gi, 4gi); третій (для захисту від вологи) – суцільна ізоляція (3s, 4s).

На рис.10 наведено розгортки напруженості електричного поля екранованої вити пари категорії 7 в разі трьохшарової ізоляції при загальній товщині ізоляції, яка становить 80 % від товщини струмопровідної жили. При цьому товщини шарів дорівнюють: 20%, 40%

% та 20 % від діаметру струмопровідної жили . Розрахунки виконано при значеннях діелектричної проникності шарів 2.1; 1,6 та 2,1 відповідно [13, 14]. Для спіненої ізоляції значення діелектричної проникності відповідає 60 % від значення діелектричної проникності спіненої азотом суцільної поліетиленової ізоляції.

Робоча ємність за результатами розрахунку дорівнює  $C = 49,1$  пФ/м. Нижня границя значень робочої ємності витих пар становить 48 пФ/м. Таким чином, в порівнянні з суцільною ізоляцією робоча ємність зменшується на 32 %, а коефіцієнт згасання – на 15% відповідно. При цьому зменшуються також масо-габаритні розміри кабелю.

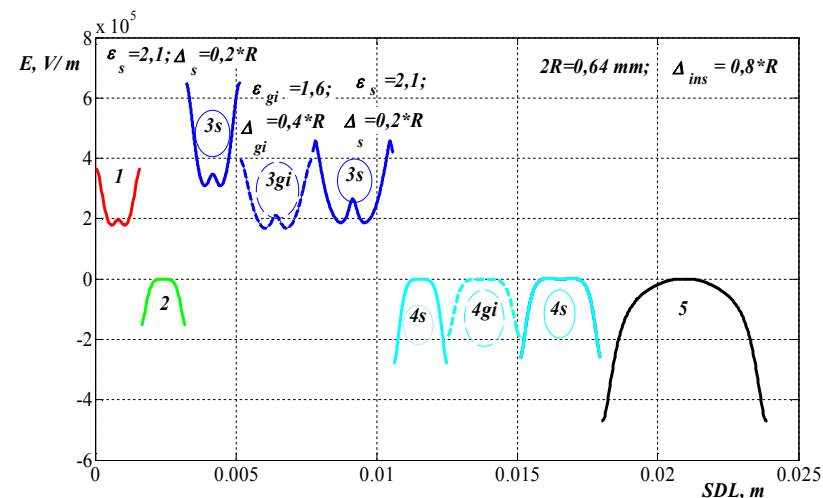


Рис. 10 – Розгортка напруженості електричного поля по поверхнях струмопровідних жил (1, 2), тришарової ізоляції (3,4): першого суцільного шару (3s, 4s), спіненої ізоляції (3gi, 4gi), третього суцільного шару (3s, 4s) та екрану (5) екранованої вити пари категорії 7

В таблиці 1 наведені результати розрахунків робочої ємності екранованої вити пари. Виділені значення робочих ємностей та відповідні товщини ізоляції: в перших двох стовпчиках – значення ємностей робочих пар, які перевищують верхню границю, жирним шрифтом – в границях допустимих значень, останні - значення ємностей робочих пар, які знаходяться за межами нижньої границі.

Таблиця 1 – Вплив товщини прошарків тришарової поліетиленової ізоляції на робочу ємність екранованої виті пари категорії 7

Робоча ємність виті екранованої пари при варіаціях товщини ізоляції $C_2$ , пФ/м	64,8	59,3	55	43,5	45,3	47,1	51,6	49,1	44,6
Загальна товщина тришарової поліетиленової ізоляції $\Delta_{ms}$ (в % від радіусу струмопровідної жили) при:	100	120	140	100	100	100	100	80	80
(випадок суцільної поліетиленової ізоляції)									
- товщині першого шару - суцільної поліетиленової ізоляції $\Delta_s$	-	-		25	30	40	45	20	10
- товщині другого шару - спіненої поліетиленової ізоляції $\Delta_{pi}$	-	-		50	40	20	10	40	60
- товщині третього шару - суцільної поліетиленової ізоляції $\Delta_s$	-	-		25	30	40	45	20	10

Вплив товщини шару спіненої поліетиленової ізоляції на робочу ємність при сталій товщині шарів ізоляції суцільного поліетилену, яка дорівнює 10 % від діаметру струмопровідної жили, показано на рис. 11.

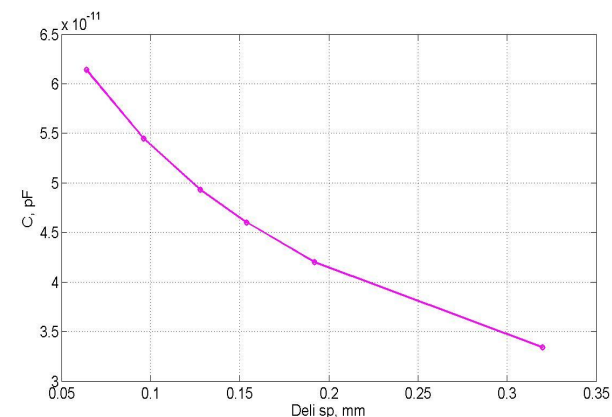


Рис. 11 – Вплив товщини спіненого шару поліетиленової ізоляції на робочу ємність виті екранованої пари категорії 7

### Висновки.

#### Для екранованих витих пар категорії 5 встановлено:

1. Опори провідників екранованих мережевих кабелів мають більші значення відносно неекранованих пар при тих же діаметрах і допусках на діаметри провідників. Це пов'язане з ефектом близькості екрана, що призводить до збільшення опору навіть на постійному струмі.

2. Робоча ємність при тій самій товщині ізоляції зростає в 1,4 -1,6 рази. Для забезпечення нормованої величини ємності товщина ізоляції екранованих кабелів повинна бути збільшена. У випадку неекранованих кабелів номінальний діаметр по ізоляції становить 0,95 мм, а у випадку екранованого кабелю 1,06 мм при тих же діаметрах провідників і допусках на них.

3. Коефіцієнт згасання екранованих кабелів менше, ніж неекранованих, в області частот понад 4 МГц. Це призводить до того, що високочастотні складові, що відповідають за фронти цифрових прямокутних сигналів, будуть у меншій мірі послаблятися.

#### Для екранованих витих пар категорії 7 на основі розрахунків електричного поля встановлено:

4. При застосуванні суцільної поліетиленової ізоляції забезпечити робочу ємність в границях допустимого діапазону (від 56 до 48 пФ/м) можливо тільки при збільшенні товщини ізоляції не менше, ніж на 40%, від діаметру струмопровідної жили. Це призводить до зростання масогабаритних розмірів та зменшенню гнучкості виті пари та мережевого кабелю в цілому.

5. Застосування трьохшарової ізоляції з посереднім шаром зі спіненою азотом ізоляцією товщиною всього 100 (рис.11) - 260 мкм (таблиця 1) в залежності від товщини суцільних шарів поліетиленової

ізоляції забезпечує робочу ємність в межах допустимих значень при зменшенні загальної товщини ізоляції не менше ніж на 20% відносно діаметру жили.

**Список літератури:** 1. International Standard ISO/IEC 11801 Information Technology – Generic Cabling for Customer Premises. – 1995. – 104 p. 2. TSB -36. Technical Systems Bulletin/ Additional Cable Specifications for Unshielded Twisted Pair Cables.-5p. 3. Семенов А.Б., Стрижачков С.К., Сунчелей И.Р. Структурированные кабельные системы. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : ДМК Пресс, 2002. – 640 с. 4. Семенов А. Б. Основные тенденции развития техники СКС // Журнал сетевых решений/ – 2007. – № 8 (133)/ – С. 56–65. 5. Семенов А. Б. Новинки СКС // Вестник связи/ – 2007/ – № 2. – С. 4–10. 6. Семенов А. Б. Структурированные кабельные системы промышленного назначения // Мир связи. – 2007/ – № 7. – С. 166–169. 7. Стерлинг Д. Кабельные системы / Д. Стерлинг, Л.Бакстер. – изд.2 – М. : Лори. – 2003. – 316с.. 8. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / А.Б.Семенов. – М.: ДМК пресс, 2007. – 640с. 9. Иоргачев Д.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи / Д.В. Иоргачев, С.Б.Бондаренко– М. : Эко-Трендз, 2002 – 284с. 10. Иоргачев Д.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи / Д.В. Иоргачев, С.Б.Бондаренко. – М.: Эко-Трендз, 2002 – 284с. 11. Парфенов Ю.А., Мирошников К.П. Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование / Ю.А. Парфенов, К.П. Мирошников. – М. : Эко-Трендз, 2004 – 288с. 12. Самарский К.Ф. Основы структурированных кабельных систем / К.Ф. Самарский. – М. : ДМК, 2005 – 232с., ил. 13. Брискер А.С. Справочник. Городские телефонные кабели / А.С.Брискер, А.Д. Руга, Д.Л. Шарле. - М. : Радио и связь, 1991 – 207с. 14. ГОСТ Р 51311 – 99. Кабели телефонные с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке. 15. Дьяконов В.П. Matlab 6/6.1/6.5+Simulink 4/5® Основы применения. Полное руководство пользователя /Дьяконов В.П. – М. : СОЛОН-Пресс. – 2004. – 767 с. 16. Беспрозванных А.В. Влияние скрутки сердечника на параметры передачи сетевых кабелей / А.В. Беспрозванных, А.Г. Игнатенко // Вестник НТУ «ХПИ». – Х. : НТУ «ХПИ», 2004. – №7. - С.82 –87. 17. Беспрозванных А.В. Оптимизация конструкции сетевых кабелей по коэффициенту затухания в зоне допусков геометрических размеров параметров передачи / А.В.Беспрозванных, А.Г. Игнатенко // Електротехніка і Електромеханіка. – 2004. – №2. – С.8 – 10. 18. Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике / О.В. Тозони. - М., 1975. – 295 с. 19. Набока Б.Г. Расчеты электростатических полей в электроизоляционной технике: [учебное пособие для студентов электроэнергетических специал.] / Б.Г. Набока – К. : ИСДО, 1995. – 120с. 20. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники: учебник для вузов в 3-х томах / К.С. Демирчян, Л.Р.Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. — СПб. : Питер, 2003.– 463 [1] с. 21. Бойко В.С. Теоретичні основи електротехніки: підручник у 3 т. Т. 1 Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами / Бойко В.С., Бойко В.В., Видолоб Ю.Ф. та ін.; за заг.ред. І.М.Чиженка та В.С.Бойка. – К. : ІВЦ, видавництво «Політехніка», 2004. – 272 с..

Надійшла в редколегію 05.01.2011