

штитого поліетилену на напругу 64/110 кВ / А. К. Шидловский, В. М. Золотарев. – Х.: Майдан. – 2007. – 62 с. 4. Рябов Б. М. Измерение высоких импульсных напряжений / Б. М. Рябов. – Л.: Энергоатомиздат. – 1983. – 124 с. 5. Месяц Г. А. О природе «эффекта Воробьевых» в физике импульсного пробоя твердых диэлектриков / Месяц Г. А. // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т.31, вып. 24. – С. 51–59. 6. Гонтарь Ю. Г. Влияние напряженности электрического поля на разрушение поверхностного слоя изоляционной конструкции / Ю. Г. Гонтарь, Д. В. Лавинский // Электротехника и электромеханика. – 2013. – №4. – С. 40-43.

Надійшла до редколегії 11.11.2013

УДК 621.315.687.24

**Разрушение поверхностного слоя диэлектрика в концевых кабельных муфтах под действием грозовых перенапряжений / А. Г. Гурии, Ю. Г. Гонтарь // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 59 (1032). – С. 53 - 61. – Бібліогр.: 6 назв.**

Розглянуті питання руйнування поверхневого шару полімерного діелектрика кабелю в кінцевих муфтах під дією повного та зрізаного імпульсів грозової перенапруги. Показано вплив ОПН на розширення спектру високочастотних складових в імпульсах перенапруги, що може призвести до прояву «ефекту Воробьейвих», коли вольт-секундні характеристики поверхневого та об'ємного пробоя порівняні та вірогідність перекриття ізоляції порівняна з вірогідністю пробоя. Цей процес пришвидшує розвиток водних тріаннів та розтріскування поверхневого шару ізоляції.

**Ключові слова:** полімерна ізоляція, кінцева муфта, грозові перенапруги.

Questions of destruction of a blanket of polymeric dielectric of a cable in trailer couplings under the influence of the full and cut-off impulses of a storm overstrain are considered. Impact of limiters of an overstrain on expansion of a range of high-frequency components in overstrain impulses that can lead to manifestation of “Vorobyev’s effect” when volt-second characteristics of superficial and volume breakdown are comparable is had and probability of overlapping of isolation is comparable with probability of breakdown. This process accelerates development water treeing and cracking of blanket of isolation.

**Key words:** polymeric isolation, trailer coupling, a storm overstrain.

УДК 621. 315

**О.Г. КЕССАЄВ**, аспірант НТУ «ХПІ»

## **ВПЛИВ НА ПАРАМЕТРИ ПЕРЕДАЧІ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТУ ТА ЕЛІПТИЧНОСТІ КОАКСІАЛЬНИХ РАДІОЧАСТОТНИХ КАБЕЛІВ**

На основі числових розрахунків виконано аналіз впливу на хвильовий опір ексцентриситету та еліптичності коаксіальних радіочастотних кабелів. Показано, що урахування зміни всіх первинних параметрів в неоднорідній конструкції кабелю призводить до підвищення точності в визначенні хвильового опору.

**Ключові слова:** коаксіальні радіочастотні кабелі, ексцентриситет, еліптичність, хвильовий опір.

**Вступ.** Час «цифрових технологій» викликає необхідність появи додаткових вимог до швидкості, обсягу і якості переданих інформаційних потоків, що передбачає постійне нарощування можливостей в області передачі даних. Волоконно-оптичні кабелі мають виняткові характеристики по перешкодозахищеності та несанкціонованому доступу до інформації. Ніякі зовнішні електромагнітні перешкоди в принципі не здатні спотворити світловий сигнал, а сам сигнал не породжує зовнішніх електромагнітних випромінювань. Підключитися до цього типу кабелю для несанкціонованого прослуховування мережі практично неможливо, тому що при цьому порушується цілісність кабелю. Теоретично можлива смуга пропускання такого кабелю досягає величини 1 ТГц, що в 1000 разів вище, ніж в електричних кабелів. Вартість оптоволоконного кабелю постійно знижується і зараз приблизно дорівнює вартості тонкого коаксіального кабелю.

Найбільш поширені оптичні кабелі модульної конструкції сердечника (сердечник із центральним силовим елементом, переважно зі склопластикового стержня, навколо якого перебувають трубки-модулі з розташованими в них оптичними волокнами) ємністю до 288 оптичних волокон і трубчатої конструкції ємністю до 896 оптичних волокон (так звані Ribbon конструкції).

Впровадження волоконно-оптичних кабелів не знімає питання щодо застосування традиційних електричних кабелів на основі витих пар та коаксіальних радіочастотних. Ці кабелі використовуються в якості абонентських для підключення відповідного приймача цифрових сигналів: комп'ютера, телевізора, тощо. В зв'язку з розширенням спектру робочих частот, що передаються по таким

© О. Г. Кессаєв, 2013

кабелям, до них висуваються більш жорсткі вимоги, як до конструкції, так і до параметрів передачі в цілому [1].

**Ціль статті - обґрунтування значень ексцентриситету та еліптичності в конструкції коаксіальних радіочастотних кабелів на основі розрахунків первинних параметрів.**

**Хвильовий опір – індивідуальна характеристика кабелю.**

Для оцінки експлуатаційних і технічних якостей кабелів використовуються хвильовий опір  $Z_{\text{в}}$  та коефіцієнт загасання.

Хвильовий опір – комплексне число, яке визначається первинними параметрами, є функцією частоти і не залежить від довжини кабелю [2]:

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{R_{\text{кк}} + j\omega L_{\text{кк}}}{G_{\text{из}} + j\omega C_{\text{кк}}}}, \text{ Ом.} \quad (2)$$

де  $R_{\text{кк}}$  – опір провідників (Ом/м),  $L_{\text{кк}}$  – загальна індуктивність, яка складається із внутрішніх індуктивностей провідників та міжпровідникової (Гн/м);  $C_{\text{кк}}$  – ємність (Ф/м) та  $G_{\text{кк}}$  – активна провідність ізоляції (См/м) на відповідній круговій частоті  $\omega=2\pi f$ .

Коефіцієнт загасання – також частотно-залежний параметр, але суттєво залежить від довжини і конструкції кабелю (діаметру провідників, матеріалу та товщини ізоляції).

В області високих частот хвильовий опір має активний характер (див. формулу (2)) і асимптотично наближається до фіксованого (нормованого) значення, причому для різних типів кабелів – це індивідуальне значення.

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{\frac{L_{\text{кк}}}{C_{\text{кк}}}}, \text{ Ом.} \quad (2)$$

Так, у кабелів з витими парами незалежно від категорії, тобто верхньої робочої частоти та конструкції, типові значення хвильового опору становить 100 Ом в діапазоні частот вище 1 МГц, у радіочастотних коаксіальних для підключення телевізійних приймачів – 75 Ом. **Таким чином, хвильовий опір є більш загальним параметром.**

**Вплив ексцентриситету на первинні параметри передачі.** При наявності ексцентриситету, еліптичності в конструкції кабелю картина електромагнітного поля спотворюється [3], що призводить до зміни всіх первинних параметрів. Тому необхідно враховувати зміну активного опору та індуктивності, ємності та активної провідності ізоляції за рахунок перерозподілу електромагнітної енергії в поперечному перетині кабелю. Ці зміни, безумовно, призведуть до зміни значень хвильового опору. Для врахування цих змін розрахунок хвильового опору необхідно виконувати за загальною формулою (1).

При виготовленні кабелів та їх монтажу можливо відхилення хвильового опору від фіксованого значення, перш за все, за рахунок ексцентриситету  $\Delta$  в розташуванні прямого та зворотного провідників коаксіального радіочастотного кабелю (рис.1б).

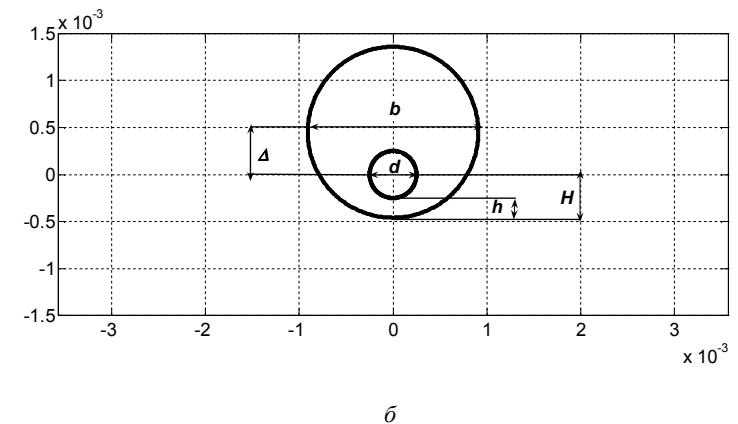
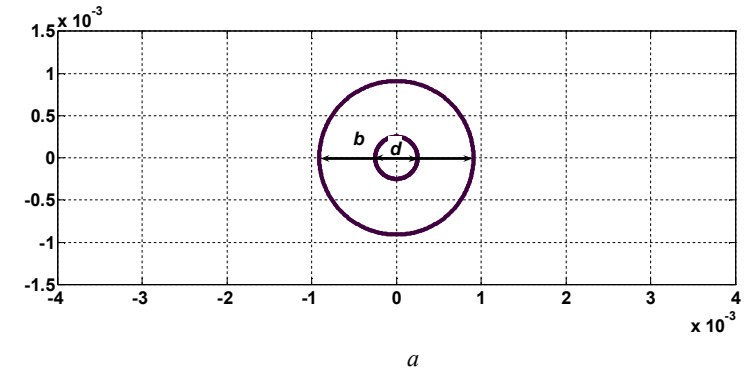


Рис.1 – Конструкція коаксіального кабелю: а – ідеальна конструкція коаксіального кабелю, без ексцентриситету; б – реальна конструкція коаксіального кабелю - з ексцентриситетом  $\Delta$

Розрахунок первинних параметрів виконано чисельними методами: активного опору та індуктивності – на підставі рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь для магнітозв'язаних контурів методом Кірхгофа; електричної ємності та активної провідності ізоляції - методом вторинних зарядів [4 - 5]. На рис.2 – рис.5 наведено

результати розрахунків первинних параметрів коаксіального кабелю для частоти 100 МГц при наявності в конструкції ексцентриситету (позначено індексами «е»), а на рис. 6 – вплив ексцентриситету на хвильовий опір [6].

При одному і тому ж відносному значенні ексцентриситету зміна параметрів – різна. Так, при  $\Delta/d = 0,5$  ємність і активна провідність ізоляції збільшуються на 2,5%, загальна індуктивність – зменшується на 7,5%, а активний опір – збільшується більш ніж на 20% відносно значень для конструкції без ексцентриситету (позначено індексами «о»).

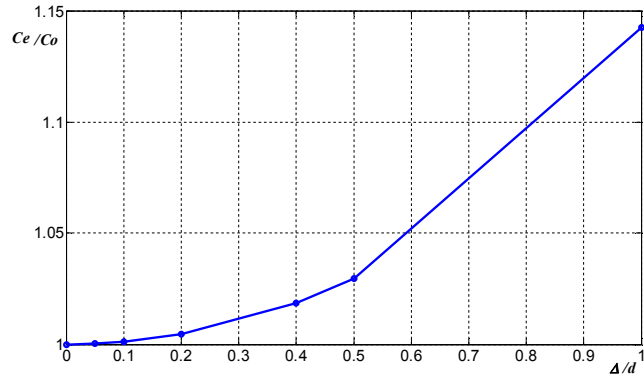


Рис.2 – Вплив ексцентриситету на робочу ємність коаксіального радіочастотного кабелю

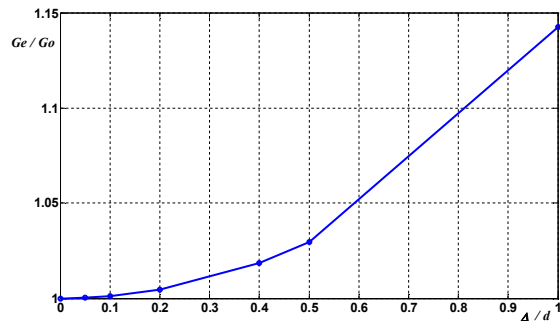


Рис.3 – Вплив ексцентриситету на активну провідність ізоляції коаксіального радіочастотного кабелю

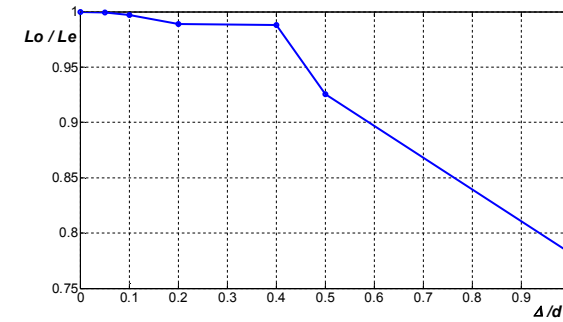


Рис.4 – Вплив ексцентриситету на загальну індуктивність коаксіального радіочастотного кабелю

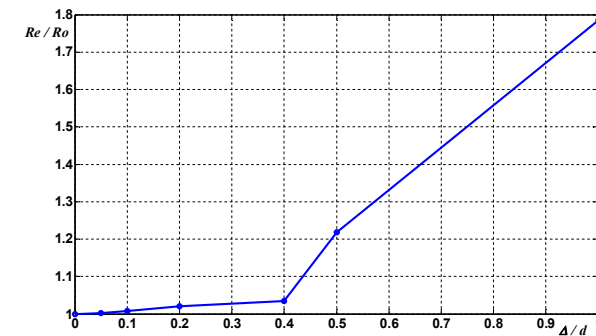


Рис.5 – Вплив ексцентриситету на активний опір провідників коаксіального радіочастотного кабелю

Аналіз літературних джерел показує [7], що розрахунки хвильового опору при наявності ексцентриситету ведуться по спрощеній формулі (2) шляхом підстановки виразів для індуктивності та ємності:

$$Z = 59,952 \frac{\ln(x + \sqrt{x^2 + 1})}{\sqrt{\epsilon_e}}, \text{ Ом} \quad (3)$$

де  $x = \frac{1}{2} \left[ \frac{d}{b} + \frac{4H}{d} \left( 1 - \frac{H}{b} \right) \right]$  (позначення показано на рис. 1б),  $\epsilon_e$  – еквівалентна діелектрична проникність матеріалу ізоляції.

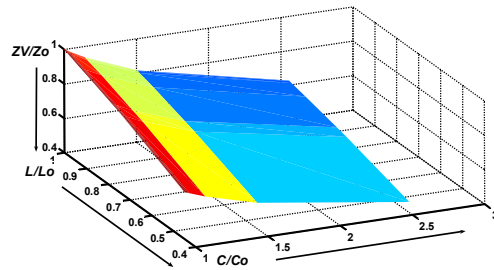


Рис. 6 – Вплив ексцентриситету  $\Delta$  на загальну індуктивність, електричну смність та хвильовий опір коаксіального радіочастотного кабелю (з індексами «о» позначені параметри без ексцентриситету)

На основі виконаних розрахунків доведено, що урахування зміни всіх первинних параметрів при наявності ексцентриситету  $\Delta$  в конструкції коаксіального радіочастотного кабелю призводить до менших відхилень хвильового опору (рис.7, крива 1) в порівнянні з розрахунком, який базується тільки на врахуванні самого геометричного фактору [7] (рис.7, крива 2).

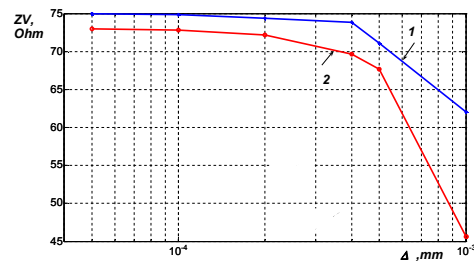


Рис. 7 – Динаміка зміни хвильового опору в залежності від значення ексцентриситету в радіочастотному кабелі з урахуванням спотворення електромагнітного поля (1) та без урахування (2) [7]

**Вплив еліптичності на хвильовий опір кабелю.** При наявності еліптичності також спостерігається відхилення хвильового опору від номінального значення: при еліптичності внутрішнього провідника хвильовий опір зменшується (рис.8), при еліптичності ізоляції – навпаки, збільшується (рис.9). Для забезпечення хвильового опору в межах нормованих відхилень  $\pm 2,5\%$  еліптичність внутрішнього провідника не повинна перевищувати 20 - 22% (рис.8), ізоляції – 27 - 25% (дивись рис.9). Інакше ці складові призведуть до виходу відхилення хвильового опору за межі допустимого, тому що при виготовленні кабелів завжди присутні допуски на діаметр провідника та діаметр по ізоляції.

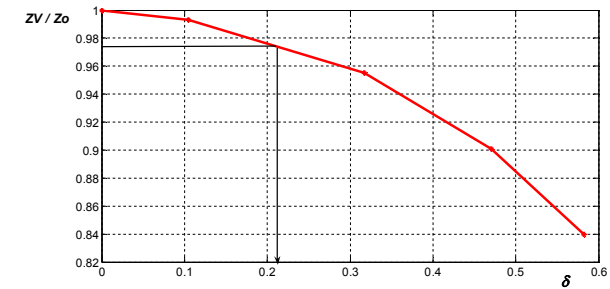


Рис. 8 – Вплив на хвильовий опір еліптичності внутрішнього провідника кабелю

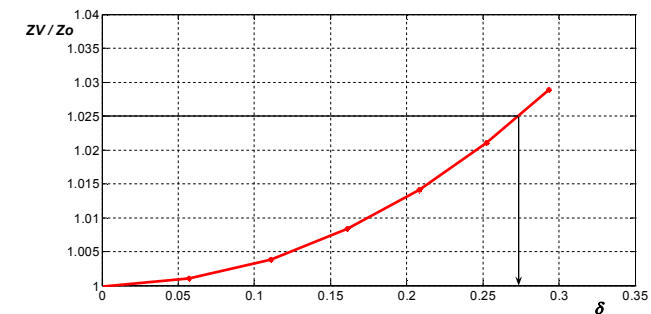


Рис. 9 – Вплив на хвильовий опір еліптичності ізоляції коаксіального радіочастотного кабелю

**Висновки.** Таким чином, наявність ексцентриситету та еліптичності в конструкції коаксіального радіочастотного кабелю призводять до спотворення електромагнітного поля, що зумовлює флуктуації хвильового опору. Точність визначення відхилень хвильового опору за результатами чисельних розрахунків з урахуванням зміни всіх первинних параметрів в 3 рази вища, ніж за формулою (3), яка не враховує спотворення активного опору та активної провідності ізоляції.

На основі розрахунків обґрунтовано припустимі значення ексцентриситету, еліптичності внутрішнього провідника та ізоляції. Це призводить до більш точного налаштування технологічного обладнання та системи контролю за технологічним процесом при виготовленні кабелів з меншими відхиленнями хвильового опору.

**Список літератури:** 1.Безпрозванних Г.В. Вплив конструктивних та технологічних неоднорідностей на хвильовий опір коаксіальних радіочастотних кабелів. / Г.В.Безпрозванних, А.М. Бойко, О.Г.Кессаєв // - Електротехніка і Електромеханіка. – Харків, 2013 р. – № 2, 57 – 61 с. 2.Гальперович Д.Я. Радиочастотные кабели / Д.Я.

Гальперович, А.А. Павлов, Н.Н. Хренков. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с. 3. Безпрозванных Г.В. Влияние эксцентриситета на напряженность электрического поля в кабелях коаксиальной конструкции / Г.В. Безпрозванных, И.А. Морозов, О.Г. Кессасев // - Тезисы доповідей XX міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я». – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. 4. Безпрозванных А.В. Математические модели и методы расчета электроизоляционных конструкций / А.В. Безпрозванных, Б.Г. Набока // Навчальний посібник. - Харків: НТУ «ХПІ», 2012. - 108. 5. Набока Б.Г. Расчеты электростатических полей в электроизоляционной технике: [учебное пособие для студентов электроэнергетических специал.] / Б.Г. Набока - К: ИСДО, 1995.- 120с. 6. Кессасев О.Г. Обґрунтування значень эксцентриситету коаксиального кабелю / Г.В. Безпрозванных, О.Г. Кессасев // - Тезисы доповідей XXI міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я». – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. 7. Ганстон М.А.Р. Справочник по волновым сопротивлениям фидерных линий СВЧ / М.А.Р. Ганстон – М.: Связь. – 1976. – 150 с.

*Надійшла в редколегію 07.10.2013*

УДК 621.315

**Влияние на параметры передачи эксцентриситета та еліптичності коаксиальних радіочастотних кабелів / О.Г. Кессасев // Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Енергетика: надійність і енергоспоживання. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 59 (1032). – С. 62 – 69. – Бібліогр.: 7 назв.**

На основании численных расчетов выполнен анализ влияния на волновое сопротивление эксцентриситета и эллиптичности коаксиальных радиочастотных кабелей. Показано, что учет изменения всех первичных параметров в неоднородной конструкции кабеля приводит к повышению точности в определении волнового сопротивления.

**Ключові слова:** коаксиальні радіочастотні кабелі, эксцентриситет, еліптичність, хвильовий опір.

Based on numerical calculations performed analysis of the impedance eccentricity and ellipticity of RF coaxial cables. It is shown that taking into account the changes of all parameters in the inhomogeneous initial design of the cable increases the accuracy in determining the wave resistance.

**Keywords:** RF coaxial cables, eccentricity, ellipticity, impedance.

УДК 621.315.2

**И. А. КОСТЮКОВ**, аспирант НТУ «ХПИ»

### **ПРИБЛИЖЕННАЯ ОЦЕНКА РАДИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ И НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКЕ БРОНИ СИЛОВОГО КАБЕЛЯ**

Получен ряд, которым описывается распределение радиальной компоненты напряженности магнитного поля и магнитной индукции в ферромагнитной проволоке брони одножильного силового кабеля в приближении двухмерного поля.

Ключевые слова: уравнение Гельмгольца, радиальная составляющая напряженности магнитного поля, вектор Пойнтинга.

**Введение.** Протекание продольных и вихревых токов в экранах, броне и оболочках однофазных силовых кабелей является одним из тех факторов, которые влияют на пропускную способность кабельной линии, а также на надежность ее в эксплуатации. Указанное обстоятельство определяет необходимость анализа влияния, как конструктивного исполнения однофазных кабелей, так и различных аспектов связанных со способами их прокладки, заземления и соединения экранов (оболочек) на величину продольных и вихревых токов.

Практические рекомендации относительно учета влияния потерь, обусловленных протеканием продольных и вихревых токов, можно найти, например, в [1, 2]. При этом многие математические модели являются достаточно универсальными, в том смысле что могут использоваться как для определения потерь в сплошных оболочках силовых кабелей (гладких и гофрированных), так и в проволочных, электрически неоднородных, экранах. Важно отметить, что именно протекание продольных токов в большой степени ограничивает пропускную способность кабельных линий. Согласно рекомендациям [1, 2] для случая соединения экранов (оболочек) с двух сторон (для не бронированных кабелей), то есть при совместном действии продольных и вихревых токов, рекомендуется учитывать только потери от продольных токов. Кроме, впрочем, случаев кабелей с большими сегментными жилами, то есть при наличии эффекта близости. Также важно отметить, что для одножильных силовых кабелей, в конструкции которых присутствует броня из ферромагнитного материала, рекомендации, которые

© И. А. Костюков, 2013