



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **96218** (13) **U**
(51) МПК (2015.01)
H01B 9/00
H02G 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

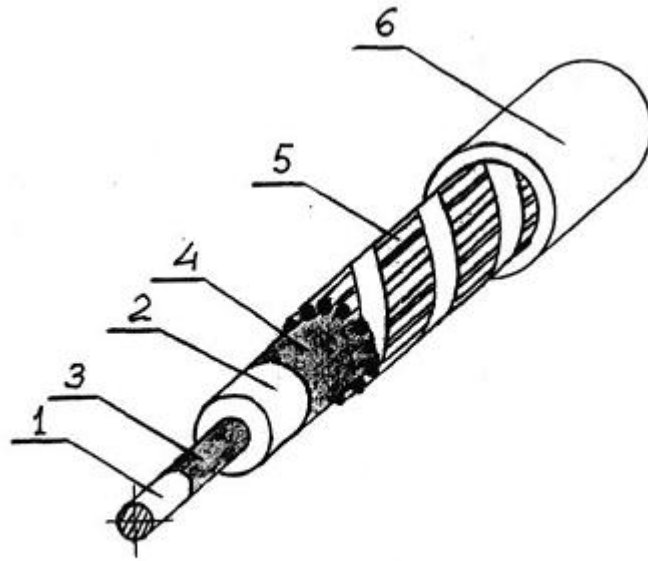
(21) Номер заявки: u 2014 08059	(72) Винахідник(и): Костюков Іван Олександрович (UA), Ломов Сергій Георгійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 16.07.2014	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 26.01.2015	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 26.01.2015, Бюл.№ 2	

(54) ТРИФАЗНА СИЛОВА КАБЕЛЬНА ЛІНІЯ

(57) Реферат:

Трифазна силова кабельна лінія містить три однакові одножильні кабелі, розташовані в горизонтальній площині з однаковою відстанню один від одного, кожен з яких має як мінімум мідну або алюмінієву струмопровідну жилу, основну електричну ізоляцію струмопровідної жили, два напівпровідні екрани, розташовані на поверхнях струмопровідної жили і основної електричної ізоляції струмопровідної жили, мідний електромагнітний екран та ізоляційну зовнішню оболонку кабелю. Кабель кожної фази кабельної лінії містить однакові за довжиною відрізки, а струмопровідні жили цих відрізків електрично з'єднані і розташовані у площині кабельної лінії таким чином, що кожен відрізок кабелю займає однакове число разів положення в кожному з двох крайніх і в середньому рядах кабельної лінії. При цьому електромагнітні екрани усіх відрізків кабелів, які розташовані в одному ряду протягом усієї кабельної лінії, послідовно електрично з'єднані.

UA 96218 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до технічних засобів транспортування і розподілу електричної енергії і може бути використана при проектуванні і прокладанні кабельних мереж великої і надвеликої потужностей.

Відомі трифазні кабельні лінії великої потужності, виконані з трьох одножильних високовольтних і надвисоковольтних кабелів. Кожен з цих трьох кабелів містить, як мінімум, мідну або алюмінієву струмопровідну жилу, основну електричну ізоляцію, напівпровідні екрани на поверхнях струмопровідної жили і основної електричної ізоляції струмопровідної жили, мідний електромагнітний екран (ЕМЕ) та ізоляційну зовнішню оболонку кабелю [1-3].

Відомо розташування окремих трьох кабелів в трифазній кабельній лінії "трикутником" [4]. При такій конструкції кабелі прилягають один до одного своїми оболонками, а відстань між центрами струмопровідних жил утворює рівносторонній трикутник. Основною перевагою такої кабельної лінії є її електрична симетрія. Подана на початок такої кабельної лінії симетрична трифазна система струмів і напруги залишається такою ж симетричною і в її кінці. Основним недоліком конструкції кабельної лінії, розташованої "трикутником", є наступне. Еквівалентний тепловий опір ґрунту для такої кабельної лінії має максимальне значення із-за мінімального значення площі поверхні кабельної лінії, що віддає тепло в ґрунт. Як результат, із-за збільшеного теплового опору зменшується пропускна спроможність кабельної лінії по струму. В кабельній лінії, яка розташована "трикутником", ЕМЕ кожного кабелю знаходяться максимально близько до струмопровідних жил сусідніх кабелів. В [5] показано, що в ЕМЕ кожного кабелю трифазної кабельної лінії під дією зовнішніх магнітних полів сусідніх кабелів цієї кабельної лінії наводяться вихрові струми, які не залежать не від засобів з'єднання ЕМЕ не від засобів їх заземлення. Втрати від вихрових струмів в ЕМЕ викликають додатковий нагрів кабелів і, як результат, додаткове зменшення пропускної спроможності по струму кабельної лінії в цілому.

Відомі конструкції трифазних кабельних ліній, в яких обидва наведені вище недоліки частково або значною мірою усуваються. В таких кабельних лініях три одножильних кабелі розташовані в горизонтальній площині на однаковій відстані один від одного (площинне укладання кабельної лінії) [1-3]. Така кабельна лінія має більшу поверхню, що віддає тепло в ґрунт, в порівнянні з кабельною лінією, в якій одножильні кабелі розташовані "трикутником". В наслідок цього зменшується еквівалентний тепловий опір ґрунту для кабельної лінії і відповідно зростає пропускна спроможність кабельної лінії по струму. Зростання відстані між кабелями в кабельній лінії площинного укладання відповідно зменшує величину вихрових струмів в ЕМЕ і, як наслідок, це приводить до зменшення нагрівання кабелю в цілому. Відповідно в кабельній лінії площинного укладання додатково зростає пропускна спроможність по струму у порівнянні з кабельною лінією, кабелі, в якій розташовані "трикутником". Основним недоліком кабельної лінії площинного укладання є наступне. В [7] приведений розрахунок електричних параметрів трифазної кабельної лінії площинного укладання. Система рівнянь для напруги такої кабельної лінії може бути приведена у вигляді

$$\begin{aligned} \bar{U}_1 &= [(R + \omega N \sqrt{3}) + j\omega(L - M + N)] \bar{I}_1 \\ \bar{U}_2 &= [R + j\omega(L - M)] \bar{I}_2 \\ \bar{U}_3 &= [(R + \omega N \sqrt{3}) + j\omega(L - M + N)] \bar{I}_3, \end{aligned} \quad (1)$$

де: R - омичний опір струмопровідної жили кабелю;

$$L = \frac{\mu_0 \ell}{2\pi} \left(\ln \frac{2\ell}{r} - 1 \right) + \frac{\mu_0 \ell}{8\pi}, \quad \text{Гн}, \quad (2)$$

де: ℓ [м] - довжина кабельної лінії;
r [м] - радіус перерізу струмопровідної жили;

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$, Гн/м;

$$M = \frac{\mu_0 \ell}{2\pi} \left(\ln \frac{2\ell}{a} - 1 \right), \quad \text{Гн}, \quad (3)$$

де: a [м] - відстань між центрами струмопровідних жил центрального і крайнього кабелів в кабельній лінії площинного укладання. По усій довжині кабельної лінії при цьому

передбачається рівність відстані a між осями центральної та кожної з крайніх струмопровідних жил.

$$N = \frac{\mu_0 \ell}{4\pi} \left(\ln \frac{2\ell}{a} - \ln \frac{2\ell}{b} \right), \text{ Гн}, \quad (4)$$

5 де: b [м] - відстань між центрами струмопровідних жил двох крайніх кабелів в кабельній лінії площинного укладання.

Аналіз системи рівнянь (1) дозволяє зробити наступні висновки. Усі фази кабельної лінії площинного укладання мають різний активний та індуктивний опір. Тобто в електричному сенсі така кабельна лінія є несиметричною. Електрична енергія, що передається несиметричною
10 кабельною лінією площинного укладання, така ж сама, як і у симетричній кабельній лінії з розташуванням кабелів "трикутником" за умови, що у цих кабельних ліній значення R і L однакові. Але у розглянутій несиметричній кабельній лінії електрична енергія нерівномірно розподіляється по фазах у відмінність від симетричних кабельних ліній, де по всіх фазах передається однакове значення енергії. Як висновок, найголовнішим у приведеному вище
15 аналізі є те, якщо на вході трифазної кабельної лінії площинного укладання маємо симетричну трифазну систему струмів і напруги, то на її виході трифазна система струмів і напруги більшою чи меншою мірою стає несиметричною в залежності від геометрії площинного укладання.

Відома конструкція кабельної лінії площинного укладання, у якій усувається несиметричний розподіл електричної енергії по фазах [4]. Така трифазна кабельна лінія укладається з трьох
20 однакових одножильних кабелів. Кожен кабель має, як мінімум, мідну або алюмінієву струмопровідну жилу, основну електричну ізоляцію струмопровідної жили, напівпровідні екрани на поверхнях струмопровідної жили та основної електричної ізоляції струмопровідної жили, мідний ЕМЕ та зовнішню ізоляційну оболонку кабелю. Кабелі укладаються в горизонтальній площині на ґрунті на рівній відстані один від одного. При цьому кожен кабель періодично через
25 рівні відстані змінює своє розташування в площині кабельної лінії. Наприклад, перший відрізок кабелю фази А укладається, як крайній лівий кабель в кабельній лінії. Другий відрізок того ж кабелю фази А після з'єднання за допомогою кабельної муфти з першим відрізком кабелю укладається, як центральний відрізок кабелю в площині кабельної лінії. Третій відрізок кабелю фази А після з'єднання з другим відрізком цього ж кабелю укладається в площині кабельної
30 лінії, як крайній правий кабель і так далі. Так саме укладаються відрізки кабелів фаз В і С. Така транспозиція кабелів дозволяє отримати у всіх трьох фазах в цілому для кабельної лінії однакові значення активного і індуктивного опору, тобто дозволяє отримати електрично симетричну кабельну лінію площинного укладання.

35 Описана конструкція кабельної лінії є найближчим технічним рішенням. Конструкція і принцип дії трифазної кабельної лінії площинного укладання, яка представлена в [4], прийняті за прототип.

Недоліком прототипу є наступне.

В ЕМЕ кабельної лінії внаслідок трансформаторного (індуктивного) зв'язку між ЕМЕ та струмопровідними жилами в ЕМЕ виникає електрорушійна сила, під дією якої при заземленні
40 ЕМЕ з двох кінців кабельної лінії уповдовж ЕМЕ протікають так звані "подовжні" струми. З розрахунком "подовжніх" струмів можна познайомитися в [7,8]. У довгих кабельних лініях великої потужності величина "подовжніх" струмів може досягти значної величини, навіть такої, яку можна порівняти з величиною робочих струмів. Таким чином, "подовжні" струми внаслідок додаткового нагріву можуть значно понизити пропускну спроможність кабельної лінії по
45 робочому струму. В довгих кабельних лініях, як площинного укладання, так і укладених "трикутником", для усунення "подовжніх" струмів застосовуються один чи декілька повних циклів транспозиції ЕМЕ. У представленому прототипі застосована повна транспозиція кабелів кабельної лінії, тобто транспонуються струмопровідна жила водночас з власним ЕМЕ. Це значить, що як би не був розташований кабель конкретної фази, в ЕМЕ цього кабелю буде
50 виникати електрорушійна сила по всій довжині кабельної лінії. Щоб уникнути значних "подовжніх" струмів така кабельна лінія може укладатися тільки з однобічним заземленням ЕМЕ, коли не існує електричний ланцюг для замкнення "подовжніх" струмів. Проте, при зростанні довжини кабельної лінії на розімкненому (незаземленому) кінці ЕМЕ виникає напруга, яка може перевищити величину, обмежену нормативною документацією. Таким чином,
55 основним недоліком прийнятого прототипу є те, що така кабельна лінія може рентабельно експлуатуватися або при відносно невеликих довжинах або при наявності багатократного однобічного заземлення секцій ЕМЕ для кабельних ліній великої довжини. При цьому ЕМЕ кабельної лінії розбивається у кожній фазі на декілька ЕМЕ, ізольованих один від одного по

довжині кабельної лінії, з однобічним заземленням кожного ЕМЕ. Останнє здорожує будівництво кабельних ліній.

5 Задачею корисної моделі є забезпечення можливості усунення "подовжніх" струмів при двобічному заземленні ЕМЕ кабельної лінії площинного укладання з одночасним забезпеченням симетричності трифазної системи струмів і напруги, як на вході, так і на виході цієї кабельної лінії.

10 Поставлена задача вирішується тим, що трифазна силова кабельна лінія містить три однакові одножильні кабелі, розташовані у горизонтальній площині з однаковою відстанню один від одного, кожен з яких має як мінімум мідну або алюмінієву струмопровідну жилу, основну електричну ізоляцію струмопровідної жили, два напівпровідні екрани, розташовані на поверхнях струмопровідної жили і основної електричної ізоляції струмопровідної жили, мідний електромагнітний екран та ізоляційну зовнішню оболонку кабелю. При цьому кабель кожної фази кабельної лінії містить однакові за довжиною відрізки, а струмопровідні жили цих відрізків електрично з'єднані і розташовані у площині кабельної лінії таким чином, що кожен відрізок 15 кабелю займає однакове число разів положення в кожному з двох крайніх і в середньому рядах кабельної лінії. При цьому електромагнітні екрани усіх відрізків кабелів, які розташовані в одному ряду протягом усієї кабельної лінії, послідовно електрично з'єднані.

Суть корисної моделі пояснюється наступними кресленнями:

20 на фіг. 1 показана конструкція одножильного кабелю, який застосовується для трифазної кабельної лінії площинного укладання;

на фіг. 2 показані електричні з'єднання і геометрія укладання струмопровідних жил і електромагнітних екранів трифазної кабельної лінії площинного укладання.

25 На фіг. 1 представлена конструкція одножильного кабелю, який застосовується для трифазної кабельної лінії площинного укладання. Такий кабель містить, як мінімум, мідну або алюмінієву струмопровідну жилу 1, основну електричну ізоляцію 2 струмопровідної жили, два полу провідних екрани 3 і 4, які розташовані на поверхнях струмопровідної жили 1 і основної електричної ізоляції 2 струмопровідної жили, електромагнітний екран 5, який виконаний із мідного дроту і замкнутий спіральною мідною стрічкою, та ізоляційну зовнішню оболонку кабелю 6.

30 На фіг. 2 представлені електричні з'єднання та геометрія трифазної кабельної лінії площинного укладання. Відрізки струмопровідних жил 1 кожної фази за допомогою кабельних муфт 7 з'єднанні один з одним і періодично з однаковими проміжками по довжині переходять у сусідній ряд площини кабельної лінії. Електромагнітні екрани 5 відрізків одножильних кабелів також мають однакову довжину і послідовно з'єднанні в одному з трьох рядів кабельної лінії. На 35 одному або на обох кінцях кабельної лінії електромагнітні екрани 5 з'єднанні з заземлювачами 8.

Трифазна кабельна лінія площинного укладання працює наступним чином.

40 При протіканні струму по струмопровідній жилі 1 в електромагнітному екрані 5 одного відрізка кабелю за рахунок індуктивного зв'язку виникає електрорушійна сила (е.р.с) і у випадку двобічного заземлення електромагнітного екрану 5 в ньому виникає "подовжній" струм. При з'єднанні декількох струмопровідних жил 1 відрізків кабелю з їх послідовним переходом з ряду в ряд в площині кабельної лінії та при розташуванні електромагнітних екранів 5 цих відрізків кабелю в одному ряду кабельної лінії виникає наступна ситуація. При послідовному електричному з'єднанні електромагнітних екранів 5 в кожному з них по чергово виникає е.р.с. від 45 струмів в струмопровідних жилах 1 фаз А, В і С.

50 Як що кількість послідовно з'єднаних один з одним відрізків електромагнітних екранів 5 кратно трьом, то сума електрорушійних сил, які виникли у кожному відрізку по всій довжині кабельної лінії дорівнює нулю. Відповідно, дорівнює нулю сила "подовжнього" струму в електромагнітних екранах 5, не зважаючи на те, чи встановлені заземлювачі 8 з обох кінців кабельної лінії чи з одного кінця. Оскільки струмопровідна жила кожної фази по чергово з 55 однаковими проміжками по довжині змінює своє розташування в рядах площини кабельної лінії, то, якщо кількість відрізків кабелю у кожній фазі кратно трьом, сумарні взаємодуковності кожної фази по всій довжині кабельної лінії будуть однакові. Це значить, що така трифазна кабельна лінія площинного прокладання стає кабельною лінією з симетричною трифазною системою струмів і напруги, як на вході, так і на виході кабельної лінії.

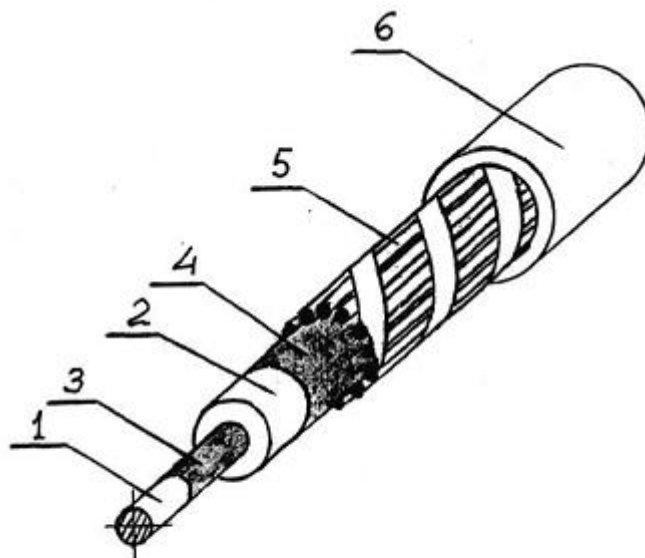
Представлені переваги дозволяють в цілому зробити висновок про позитивний ефект конструкції та принципу дії трифазної силової кабельної лінії площинного укладання, що пропонується.

Джерела інформації:

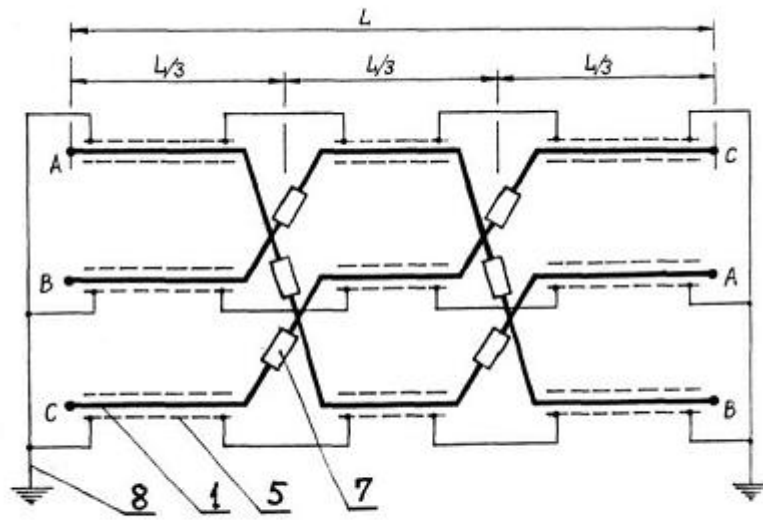
1. Основы кабельной техники. Под ред. В.А. Привезенцева. Изд. 2-е. М., "Энергия", 1975, - 472 с.
2. Н.И.Белоруссов Электрические кабели и провода. М., "Энергия", 1971, - 512 с.
- 5 3. Э.Т.Ларина Силовые кабели и кабельные линии. М., Энергоатомиздат, 1984.
4. Руководящий технический материал по сооружению, испытаниям и эксплуатации кабельных линий с использованием кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 64/110 кВ. Под ред. акад. А.К.Шидловского и В.М.Золотарева. Харьков, "Майдан", 2006, - 62 с.
- 10 5. Я.Туровский Техническая электродинамика. М., "Энергия", 1974, - 488 с.
6. Силовые кабели. Методика расчета устройств заземления экранов, защиты от перенапряжений изоляции силовых кабелей на напряжение 110-500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Стандарт организации "ФСК ЕЭС". СТО 56947007-29.060.20.103-2011. М., 2011, - 32 с.
- 15 7. Л.Р.Нейман и П.Л.Калантаров Теоретические основы электротехники. В 3-х частях. Часть третья. М-Л.,ГЭИ, 1959, - 232 с.
8. М.В.Дмитриев, Г.А.Евдокин. Заземление экранов однофазных кабелей 6-10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. "Новости электротехники", №5(47), 2007.
- 20 9. Л.А.Ковригин Продольные токи в экранах одножильных кабелей. КАБЕЛЬ-news, №3, 2009.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Трифазна силова кабельна лінія, що містить три однакові одножильні кабелі, розташовані в горизонтальній площині з однаковою відстанню один від одного, кожен з яких має як мінімум мідну або алюмінієву струмопровідну жилу, основну електричну ізоляцію струмопровідної жили, два напівпровідні екрани, розташовані на поверхнях струмопровідної жили і основної електричної ізоляції струмопровідної жили, мідний електромагнітний екран та ізоляційну зовнішню оболонку кабелю, яка **відрізняється** тим, що кабель кожної фази кабельної лінії містить однакові за довжиною відрізки, а струмопровідні жили цих відрізків електрично з'єднані і розташовані у площині кабельної лінії таким чином, що кожен відрізок кабелю займає однакове число разів положення в кожному з двох крайніх і в середньому рядах кабельної лінії, при цьому електромагнітні екрани усіх відрізків кабелів, які розташовані в одному ряду протягом усієї кабельної лінії, послідовно електрично з'єднані.



Фиг. 1



Фиг. 2

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601