



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **106794** (13) **U**
(51) МПК (2016.01)
H01B 9/00
H02G 9/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

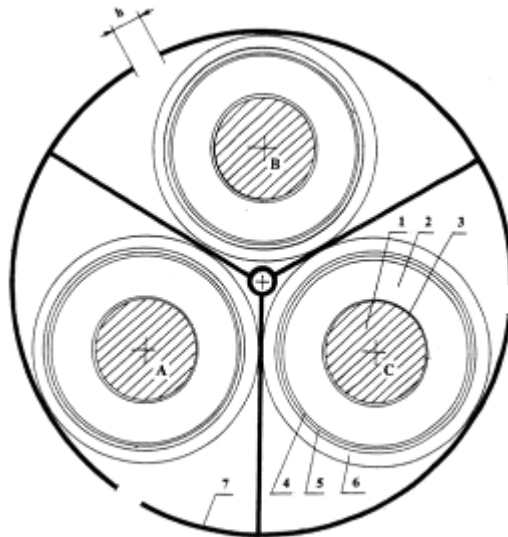
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2015 10417	(72) Винахідник(и): Боєв Вячеслав Михайлович (UA), Костюков Іван Олександрович (UA), Ломов Сергій Георгійович (UA)
(22) Дата подання заявки: 26.10.2015	(73) Власник(и): НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Фрунзе, буд. 21, м. Харків-2, 61002, Україна (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.05.2016	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 10.05.2016, Бюл.№ 9	

(54) ТРИФАЗНА СИЛОВА КАБЕЛЬНА ЛІНІЯ

(57) Реферат:

Трифазна силова кабельна лінія містить три однакові одножильні кабелі, осі яких знаходяться у вершинах рівностороннього трикутника у площині перпендикулярного перерізу кабельної лінії, 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 і ізоляційну зовнішню оболонку. Усі три кабелі розташовані усередині корпусу, який виконаний зі сталевих магнітних листів таким чином, що кожен з кабелів розташований усередині частини корпусу, кожна з яких має однакові розміри для кожного з трьох кабелів, і при цьому корпус має на зовнішній оболонці у тангенційному напрямку у площині перпендикулярного перерізу корпусу і уздовж осі кабелю по усій довжині кабелю три немагнітні проміжки, які мають однакові розміри і однакову відстань один від одного.



Фіг. 1

UA 106794 U

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 (КЛ) 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 струмопровідної жили, напівпровідні екрани на поверхнях струмопровідної жили і основної електричної ізоляції струмопровідної жили, мідний електромагнітний екран (ЕМЕ) і ізоляційну зовнішню оболонку кабелю.

Відомо розташування окремих трьох кабелів у трифазній КЛ «трикутником» [3]. При такій конструкції кабелі прилягають один до одного своїми оболонками, а відстань між центрами струмопровідних жил утворює рівносторонній трикутник у площині перпендикулярного перерізу КЛ. Основною перевагою такої КЛ є її електрична симетрія. Подана на початок такої КЛ симетрична трифазна система струмів і напруги залишається такою ж симетричною і в її кінці. Основним недоліком конструкції КЛ, розташованої «трикутником» є наступне. Ефективний тепловий опір ґрунту, який використовується для теплових розрахунків КЛ, має максимальне значення із-за мінімального значення площі поверхні КЛ, що віддає тепло у ґрунт. Як наслідок, із-за збільшеного теплового опору зменшується пропускна спроможність КЛ по струму. Є і другий недолік КЛ, розташованої «трикутником». У такій КЛ електромагнітні екрани кожного кабелю знаходяться максимально близько до струмопровідних жил сусідніх кабелів. У [6] показано, що у ЕМЕ кожного кабелю трифазної КЛ під дією зовнішніх магнітних полів сусідніх кабелів цієї КЛ наводяться вихрові струми, які не залежать не від засобів з'єднання ЕМЕ не від засобів їх заземлення. Втрати від вихрових струмів у ЕМЕ викликають додатковий нагрів кабелів і, як наслідок, додаткове зменшення пропускної спроможності по струму КЛ у цілому.

Відомі конструкції трифазних КЛ, у яких обидва наведені вище недоліки частково або значною мірою усуваються. У таких КЛ три одножильні кабелі розташовані у горизонтальній площині на однаковій відстані один від одного (площинне укладання КЛ) [2-5]. Така КЛ має більшу поверхню, що віддає тепло у ґрунт, у порівнянні з КЛ, у якій одножильні кабелі розташовані «трикутником». Внаслідок цього зменшується ефективний тепловий опір ґрунту для КЛ і відповідно зростає пропускна спроможність КЛ по струму. Зростання відстані між кабелями у КЛ площинного укладання відповідно зменшує величину вихрових струмів у ЕМЕ і, як наслідок, це призводить до зменшення нагрівання кабелю у цілому. Відповідно у КЛ площинного укладання додатково зростає пропускна спроможність по струму у порівнянні з КЛ, кабелі у якій розташовані «трикутником». Основним недоліком КЛ площинного укладання є наступне.

У [6, 7] приведений розрахунок електричних параметрів трифазної КЛ площинного укладання. Система рівнянь для падінь напруги для такої КЛ на один метр її довжини може бути приведена у вигляді

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

$$\bar{U}_C = [(R - \omega N \sqrt{3}) + j\omega(L - M + N)] \cdot \bar{I}_C$$

де: R - опір струмопровідної жили кабелю постійному струму, Ом/м;

$$L = 2 \cdot 10^{-7} [\ln(2/r_{ж}) - 0,5], \text{ Гн/м} \quad (2),$$

де: r_ж - радіус перерізу струмопровідної жили кабелю, м;

$$M = 2 \cdot 10^{-7} [\ln(2/a) - 1], \text{ Гн/м}, \quad (3)$$

$$N = 2 \cdot 10^{-7} \ln(b/a), \text{ Гн/м}, \quad (4),$$

де: b і a - відповідно відстань між центрами струмопровідних жил двох крайніх кабелів і відстань між центрами струмопровідних жил середнього і кожного з крайніх кабелів КЛ, м. По усій довжині КЛ площинного укладання передбачається незмінність значень a і b.

Аналіз системи рівнянь (1) дозволяє зробити наступний висновок. Усі фази КЛ мають різний активний опір струмопровідних жил. У [6] зазначено, що складова рівнянь $\omega N \sqrt{3}$ фізично має значення додаткового активного опору струмопровідної жили у одному з крайніх кабелів КЛ площинного укладання. А це у свою чергу значить, що максимальна пропускна спроможність такої КЛ по робочому струму навантаження має визначатися по пропускній спроможності кабелю у КЛ, який має максимальне значення активного опору струмопровідної жили. Відповідні теплові розрахунки показують, що у реальній експлуатації, починаючи з площині перерізу струмопровідної жили 220-240 мм² і більше, КЛ площинного укладання не має переваг по

пропускній спроможності у порівнянні з КЛ, прокладеною «трикутником». Окрім цього, КЛ площинного укладання має ще і більший індуктивний опір.

Відома конструкція силового електричного одножильного кабелю [1], який містить, як мінімум, мідну або алюмінієву струмопровідну жилу, основну електричну ізоляцію струмопровідної жили, два напівпровідні електричні екрани, які розташовані на поверхнях струмопровідної жили і основної електричної ізоляції струмопровідної жили, мідний електромагнітний екран (ЕМЕ) і ізоляційну зовнішню оболонку кабелю. При цьому кабель містить поверх ЕМЕ два концентричні шари сталевих магнітних стрічок, які розташовані уздовж осі кабелю таким чином, що відстань стрічок одна від одної у шарі є не меншою, ніж половина ширини стрічки. При цьому верхній шар сталевих магнітних стрічок розташований таким чином, що центральна вісь кожної стрічки у верхньому шарі збігається з центром немагнітного проміжку між сталевими магнітними стрічками нижнього шару і ці два шари сталевих магнітних стрічок ізольовані один від одного, а також ізольовані від ЕМЕ. Використання цієї конструкції силового електричного одножильного кабелю при будівництві трифазної КЛ дозволяє поліпшити пропускну спроможність по робочому струму КЛ будь-якої геометрії прокладання. Це поліпшення відбувається завдяки наступному. Розташування двох шарів сталевих магнітних стрічок поверх ЕМЕ приводить до суттєвого екранування зовнішнього магнітного потоку від поруч розташованих кабелів у КЛ. З мідним ЕМЕ взаємодіє тільки внутрішній магнітний потік (значною мірою екранований зовнішній магнітний потік), через що втрати від вихрових струмів у мідному ЕМЕ суттєво зменшуються. Таким чином у конструкції кабелю, що містить комбінований сталєво-мідний електромагнітний екран, не глядячи на додаткові втрати у сталевих стрічках, сумарні теплові втрати у цілому у КЛ можуть бути суттєво меншими у порівнянні з КЛ, які містять тільки мідні ЕМЕ. Необхідно враховувати, що використання сталевих магнітних стрічок у конструкції кабелю збільшує магнітний потік розсіювання кожного кабелю. Відповідно збільшується величина індуктивного опору КЛ, що є явищем небажаним. Розташування сталевих магнітних стрічок у двох шарах з розділенням цих шарів за допомогою ізоляційної плівки дозволяє отримати для додаткового магнітного потоку немагнітні проміжки і тим самим, якщо регулювати довжину цих немагнітних проміжків, можливо отримати економічно вигідне співвідношення між збільшенням пропускної спроможності КЛ по струму і деяких збільшеннях її індуктивного опору.

Конструкція і принцип дії силового електричного одножильного кабелю, які представлені у [1], є найбільш близьким технічним рішенням при будівництві трифазної силової КЛ з підвищеною пропускною спроможністю.

Конструкція силового електричного одножильного кабелю, яка представлена у [1], прийнята за прототип при розробці трифазної силової кабельної лінії.

Недоліком прототипу є наступне.

Будівництво КЛ з підвищеною пропускною спроможністю по струму за рахунок зменшення теплових втрат у ЕМЕ можливо лише при використанні кабелів, конструкція яких зазначена у прототипі [1]. Промислово такі кабелі ще не виготовляються. Тобто отримати збільшення пропускної спроможності по струму за рахунок ефекту, який зазначений вище, неможливо для КЛ, які будуються з силових одножильних кабелів, що випускаються промисловістю.

Задачею корисної моделі є підвищення пропускної спроможності по струму трифазної силової кабельної лінії, яка прокладена «трикутником», за рахунок зменшення теплових втрат у ЕМЕ при використанні кабелів, які випускаються промисловістю.

Поставлена задача вирішується тим, що трифазна силова КЛ містить три однакові одножильні кабелі, осі яких знаходяться у вершинах рівностороннього трикутника у площині перпендикулярного перерізу кабельної лінії, 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 і ізоляційну зовнішню оболонку. При цьому усі три кабелі розташовані усередині корпусу, який виконаний зі сталевих магнітних листів таким чином, що кожен з кабелів розташований усередині частини корпусу, кожна з яких має однакові розміри для кожного з трьох кабелів. При цьому корпус має на зовнішній оболонці у тангенційному напрямку у площині перпендикулярного перерізу корпусу і уздовж осі кабелю по усій довжині кабелю три немагнітні проміжки, які мають однакові розміри і однакову відстань один від одного.

Суть корисної моделі пояснюється наступними кресленнями:

- на фіг. 1 показана конструкція трифазної силової кабельної лінії;

- на фіг. 2 показано екранування у окремому кабелі КЛ зовнішнього магнітного потоку $\Phi_{\text{зовні}}$;

- на фіг. 3 показаний додатковий магнітний потік $\Phi_{\text{дод}}$ окремого кабелю.

На фіг. 1 представлена конструкція трифазної силової кабельної лінії. Така КЛ містить три однакові одножильні кабелі промислових зразків, кожен з яких містить, як мінімум, мідну або алюмінієву струмопровідну жилу 1, основну електричну ізоляцію 2 струмопровідної жили, два напівпровідні екрани 3 і 4, які розташовані відповідно на поверхні струмопровідної жили 1 і на поверхні основної електричної ізоляції 2 струмопровідної жили, мідний електромагнітний екран 5 і зовнішню ізоляційну оболонку 6. Усі три кабелі цієї КЛ розташовані усередині корпусу 7, який виконаний зі сталевих магнітних листів. На зовнішній оболонці корпусу 7 у тангенційному напрямку у площині перпендикулярного перерізу корпусу і уздовж осі кабелю по усій довжині кабелю виконані три немагнітні проміжки, які мають однакові розміри і однакову відстань один від одного.

На фіг.2 ілюструється дія сталевих магнітних листів частини корпусу 1 щодо екранування зовнішнього магнітного потоку $\Phi_{\text{зовн}}$, який створюється струмами струмопровідних жил сусідніх фаз КЛ.

На фіг.3 показаний додатковий магнітний потік $\Phi_{\text{дод}}$, у частині корпусу 7, який утворюється струмом у власній струмопровідній жилі 1 кабелю, який знаходиться у цій частині корпусу.

Трифазна силова кабельна лінія працює наступним чином.

При протіканні струму по струмопровідній жилі 1 виникає власне електромагнітне поле. Електромагнітна хвиля цього поля для мідного ЕМЕ 5 і частини сталевих магнітного корпусу 7, яка показана на фіг.2, є приблизно плоскою електромагнітною хвилею, внаслідок чого, магнітна складова електромагнітної хвилі проходить скрізь мідний ЕМЕ і сталеві магнітні листи частини корпусу 7 практично без втрат [6]. Електричну складову електромагнітної хвилі мідний ЕМЕ практично повністю затримує, внаслідок чого електричне поле поза мідним ЕМЕ практично відсутнє. Залишаючись у об'ємі мідного ЕМЕ електрична складова електромагнітної хвилі наводить по довжині цього екрана певну величину електрорушійної сили (е.р.с). Якщо електромагнітні екрани кабелів у КЛ замкнені між собою або заземлені з обох кінців КЛ, то у цих екранах протікають «подовжні» струми. У подальшому втрати у ЕМЕ від «подовжніх» струмів розглядатися не будуть, тому що при прокладанні КЛ великої потужності приймаються заходи проти усунення «подовжніх» струмів. Зокрема, такими заходами є повний цикл транспозиції електромагнітних екранів у трифазній КЛ або їх однобічне заземлення. Також не буде розглядатися втрати у ЕМЕ від магнітної складової власного електромагнітного поля, оскільки величина цих втрат дуже мала. Проходячи практично без втрат скрізь власний електромагнітний екран 5 і сталеві магнітні листи частини корпусу 7, яка оточує представлений на фіг.2 кабель, магнітна складова електромагнітної хвилі зустрічає на своєму шляху ЕМЕ і сталеві магнітні листи частини корпусу 7, яка оточує кабель сусідньої фази КЛ. У цьому випадку хвиля магнітного поля вже не є плоскою хвилею і у відповідності з законом електромагнітної індукції приводить до виникнення вихрових струмів як у мідному ЕМЕ, так і у сталевих магнітних листах корпусу 7. Ці вихрові струми необхідно враховувати при проектуванні КЛ, оскільки їх величина може досягати таких значень, що стає небезпечною з точки зору перегріву КЛ. Ці вихрові струми не знищуються ні засобом з'єднання кабелів і електромагнітних екранів, ні засобом заземлення екранів. Відповідно, теплові втрати у КЛ можуть суттєво зменшити пропускну спроможність КЛ по струму. Кожен з трьох кабелів трифазної КЛ розташований усередині корпусу 7, який виконаний зі сталевих магнітних листів таким чином, що кожна частина корпусу має однакові розміри і, відповідно, однакові електричні і магнітні параметри, внаслідок чого не порушується електрична симетрія трифазної КЛ у цілому. Така конструкція КЛ приводить до суттєвого екранування зовнішнього магнітного потоку $\Phi_{\text{зовн}}$. З мідним електромагнітним екраном взаємодіє тільки внутрішній магнітний потік $\Phi_{\text{внут}}$, через що втрати від вихрових струмів у ЕМЕ суттєво зменшуються. Таким чином, у конструкції КЛ, що пропонується, не глядячи на додаткові втрати у сталевому магнітному корпусі 7, сумарні теплові втрати у КЛ можуть бути суттєво зменшені і при цьому така КЛ може бути виконана з одножильних кабелів традиційної конструкції, які випускаються промисловістю. Необхідно враховувати, що використання сталевих магнітного корпусу 7 збільшує магнітний потік розсіювання кожного кабелю і відповідно збільшується величина Індуктивного опору КЛ, що є явищем небажаним. Наявність немагнітних проміжків, які розташовані на зовнішній поверхні корпусу 7 суттєво зменшують магнітний потік розсіювання у КЛ. Розрахунок довжини h немагнітного проміжку дозволяє отримати економічно вигідне співвідношення між збільшенням пропускну спроможності КЛ по струму і деяких збільшеннях її індуктивного опору. Методика і приклад розрахунку підвищення пропускну спроможності КЛ з урахуванням екранування зовнішнього магнітного поля феромагнітними елементами у конструкції кабелю (сталевими магнітними стрічками) приведені у [1]. Проведені розрахунки для конструкції КЛ, що пропонується, показали що при розташуванні трьох одножильних кабелів марки АП_ВЭГДП-

1×630/120-110/64 у корпусі, який виконаний зі сталевих магнітних листів завтовшки 1,5 мм, у відповідності з конструкцією, яка представлена вище, можна отримати підвищення пропускної спроможності трифазної КЛ по струму приблизно на 13-15% у порівнянні з КЛ традиційної конструкції, тобто КЛ, яка виконана з таких же кабелів і прокладена «трикутником» без сталевих магнітних листів.

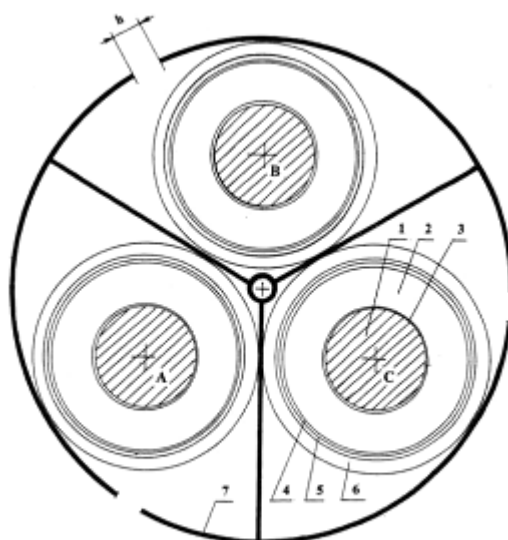
Представлені переваги дозволяють у цілому зробити висновок про позитивний ефект конструкції та принципу дії трифазної силової кабельної лінії, що пропонується.

Джерела інформації:

1. Патент України на корисну модель №99421 Н01 9/00, опубл. 10.06.2015, бюл. №11.
2. Э.Т. Ларина. Силовые кабели и кабельные линии. - М.: Энергоатомиздат, 1984, 357 с.
3. Основы кабельной техники. Под ред. В.А. Привезенцева. Изд. 2-е. - М.: «Энергия», 1975, 472с.
4. Н.И. Белорусов. Электрические кабели и провода. - М.: «Энергия», 1971, 512с.
5. 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.
6. Я.Туровский. Техническая электродинамика. Пер. с польск. - М.: «Энергия», 1974, 488 с.
7. Нейман Л.Р., Калантаров П.Л. Теоретические основы электротехники, в 3-х томах. Теория электромагнитного поля. - М.: ГЭИ, 1959, 232 с.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Трифазна силова кабельна лінія, що містить три однакові одножильні кабелі, осі яких знаходяться у вершинах рівностороннього трикутника у площині перпендикулярного перерізу кабельної лінії, 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 і ізоляційну зовнішню оболонку, яка **відрізняється** тим, що усі три кабелі розташовані усередині корпусу, який виконаний зі сталевих магнітних листів таким чином, що кожен з кабелів розташований усередині частини корпусу, кожна з яких має однакові розміри для кожного з трьох кабелів, і при цьому корпус має на зовнішній оболонці у тангенційному напрямку у площині перпендикулярного перерізу корпусу і уздовж осі кабелю по усій довжині кабелю три немагнітні проміжки, які мають однакові розміри і однакову відстань один від одного.



Фиг. 1

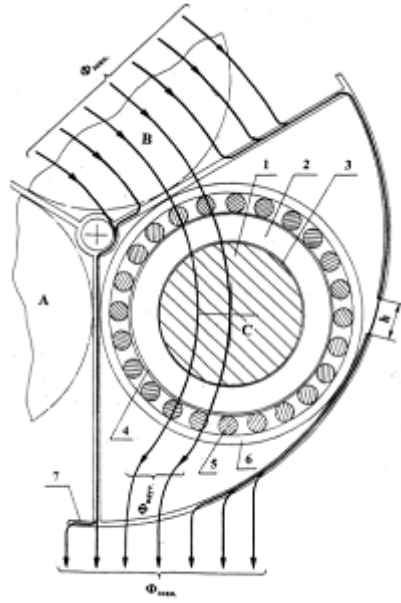


Fig. 2

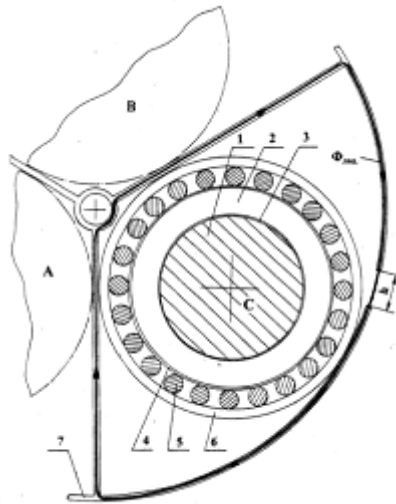


Fig. 3

Комп'ютерна верстка А. Крулевський

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

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