



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **93103** (13) **C2**
(51) **МПК (2011.01)**
H01F 21/00
G01R 15/00
H02M 5/04 (2011.01)
H01F 27/30 (2011.01)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) ІНДУКТИВНИЙ ПОДІЛЬНИК НАПРУГИ

1

(21) a200903958
(22) 22.04.2009
(24) 10.01.2011
(46) 10.01.2011, Бюл.№ 1, 2011 р.
(72) БУТЕНКО ОЛЕГ ГРИГОРОВИЧ
(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ НАУКОВО-ВИРОБНИЧИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦІЇ, МЕТРОЛОГІЇ, СЕРТИФІКАЦІЇ ТА ЗАХИСТУ ПРАВ СПОЖИВАЧІВ (ДП "УКРМЕТРТЕСТСТАНДАРТ")
(56) SU 1283863 A1; 15.01.1987
UA 76160 C2; 17.07.2006
GB 997050 A; 30.06.1965
RU 2223564 C1; 10.02.2004
SU 637925 A; 15.12.1978
SU 1049991 A; 23.10.1983
SU 619999 A; 18.06.1978
SU 1071963 A; 07.02.1984
SU 497544 A; 27.04.1978
RU 2176088 C1; 20.11.2001
RU 2298802 C2; 10.05.2007
CA 2007665 A1; 13.07.1990
FR 2646714 A1; 09.11.1990
(57) 1. Індуктивний подільник напруги, що містить осердя і обмотку, виконану з секційних обмоток з виводами, з'єднаних узгоджено-послідовно між собою, який **відрізняється** тим, що обмотка утворена одночасним рівномірно-послідовним укладанням за всією довжиною осердя в кілька шарів,

2

шар за шаром, витків шлейфа з проводів, крайні з яких є захисними проводами, між якими розташовані робочі проводи, при цьому в кожному наступному шарі секції укладені у тому самому напрямку, виток у виток, що і у попередньому, і кожний провід секції укладений на провід своєї секції з дотриманням вертикального розташування, виток над витком своєї секції, відносно осі осердя, з утворенням багат шарових робочих і захисних секцій, і з утворенням основних і допоміжних шарів, при цьому допоміжними шарами є принаймні перший і принаймні останній шари, решта шарів є основними, кожна багат шарова захисна секція утворена витками відповідного захисного проводу із шлейфа, кожна робоча секція утворена витками відповідного робочого проводу із шлейфа, і робочі секції в кожному шарі, що утворюють основну обмотку, розташовані між верхньою і нижньою захисними секціями, а виводи початку і кінця кожної секції розташовані по одному виводу на першому і останньому витках основного шару кожної захисної і кожної робочої секцій.

2. Індуктивний подільник за п. 1, який **відрізняється** тим, що осердя виконане у вигляді тора.

3. Індуктивний подільник за п. 1, який **відрізняється** тим, що витки робочих і захисних проводів у робочих і захисних секціях у всіх шарах багат шарової обмотки розташовані перпендикулярно до осі осердя.

Винахід відноситься до галузі електровиміральної техніки, а саме, до індуктивних подільників напруги і може застосовуватись для розробки та виготовлення широкосмугових, прецизійних індуктивних подільників напруги високої точності з поліпшеними метрологічними характеристиками.

Відомий індуктивний подільник напруги, який включає феромагнітні осердя, з розміщеними на кожному з них двома обмотками, що є попередньою і наступною декадами, виконаними джгутами із рівномірно скручених ізольованих проводів (SU,

авторське свідоцтво №637925, кл. H02M 5/12 [1]). Джуги попередньої декади виконані у вигляді двох рівних груп паралельно з'єднаних проводів, а активний опір кожної секції попередньої декади менший активного опору проводів усієї наступної декади у 8-10 раз.

Таке виконання індуктивного подільника напруги призводить до розширення діапазону робочих частот, але негативно відбивається на точності перетворення напруги за рахунок збільшення паразитних реактивних складових загального ім-

(13) **C2**

(11) **93103**

(19) **UA**

педансу. Це призводить до зниження верхньої межі діапазону робочих частот через значну нерівність еквівалентних паразитних ємностей, які шунтують секції індуктивного подільника напруги.

Відомий індуктивний подільник напруги, що містить попередні і наступні декади на феромагнітних осердях, на кожному з яких розміщені перша і друга додаткові обмотки з виводами, з'єднані узгоджено-послідовно між собою, і основна обмотка, середній вивід якої з'єднаний з загальною точкою додаткових обмоток (SU, авторське свідоцтво №1049991, кл. H01F 21/12 [2]). Кожна декад подільника додатково містить третю і четверту, аналогічні першій і другій, додаткові обмотки з виводами, причому число секцій і число витків кожної додаткової обмотки у два рази менше числа секцій і числа витків основної обмотки. Початок і кінець основної обмотки з'єднані з початками першої і третьої додаткових обмоток і кінцями другої і четвертої додаткових обмоток відповідно, а однойменні виводи першої і третьої, другої і четвертої додаткових обмоток з'єднані між собою. Це призводить до зниження верхньої межі діапазону робочих частот через значну нерівність значень еквівалентних паразитних ємностей, які шунтують секції індуктивного подільника напруги.

Однак, у відомому індуктивному подільнику напруги спроба зменшення вихідного активного опору, використовуючи проводи більшого діаметру чи їх паралельне включення, та збільшення індуктивності обмотки шляхом збільшення числа витків чи розмірів осердя призводить до збільшення вхідної ємності та індуктивності розсіювання, тобто до зниження верхньої межі діапазону робочих частот.

Найбільш близьким є індуктивний подільник напруги, що включає осердя і обмотку, виконану з секційних обмоток з виводами, з'єднаних узгоджено-послідовно між собою (RU, патент №2223564, кл. H01F 21/12 [3]). Обмотка виконана з джгутів, з яких сформовані перша і друга додаткові п'ятисекційні обмотки з виводами, з'єднані узгоджено-послідовно між собою; декади, кожна з яких є основною десятисекційною обмоткою, початок, кінець і середній вивід її з'єднані відповідно з початком першої, кінцем другої і загальною точкою з'єднання додаткових п'ятисекційних обмоток. При цьому, виводи крайніх секцій основної десятисекційної обмотки, першої і другої додаткових п'ятисекційних обмоток з'єднані між собою, у попередній декаді кінець третьої і початок четвертої додаткових шестисекційних обмоток з'єднані з середнім виводом основної десятисекційної обмотки, а решта виводів, за винятком крайніх виводів, з'єднані з відповідними виводами першої і другої додаткових п'ятисекційних обмоток.

Відомий індуктивний подільник напруги має достатньо високу надійність та механічну міцність обмоток, що досить важливо при серійному їх виробництві. Виконання обмоток із джгутів призводить до зменшення втрат за рахунок зменшення активної складової імпедансу та розширення діапазону робочих частот. Суттєва нерівність значень еквівалентних паразитних ємностей, які шунтують секції індуктивного подільника напруги, при виго-

товленні обмотки із джгутів, частково компенсована виконанням з трьох джгутів: основної обмотки; двох пар додаткових обмоток. Спеціальне електричне з'єднання усіх цих обмоток частково компенсує нерівність значень еквівалентних паразитних ємностей, які шунтують секції індуктивний подільник напруги.

Однак, таке виконання відомого індуктивного подільника напруги приводить до нерівності значень еквівалентних паразитних ємностей. Те, що основна декада виконується з трьох джгутів веде до збільшення паразитних ємностей та індуктивностей розсіювання, а головне, до збільшення розкиду згаданих вище паразитних параметрів між собою. Зазначені недоліки приводять до значного збільшення габаритів та матеріалоемності, та ускладнення виготовлення секцій ідентичними, що сприяє збільшенню похибки масштабного перетворення.

Задачею винаходу є удосконалення індуктивного подільника напруги, в якому за рахунок конструктивного виконання забезпечується рівність паразитних ємностей (C_0) секцій відносно осердя і індуктивностей (L) секцій та взаєміндуктивностей всіх секцій (M), що приводить до зменшення паразитних ємностей та індуктивності розсіювання і зменшення розкиду згаданих вище паразитних параметрів між собою, а також, дозволяє зменшити кількість витків його секцій при підвищенні точності масштабного перетворення електричної напруги змінної сили струму.

Поставлена задача вирішується запропонованим індуктивним подільником напруги, що включає осердя і обмотку, виконану з секційних обмоток з виводами, з'єднаних узгоджено-послідовно між собою, в якому обмотка утворена одночасним рівномірно-послідовним укладанням за всією довжиною осердя в кілька шарів шар за шаром витків шлейфа з проводів, крайні з яких є захисними проводами, між якими розташовані робочі проводи, при цьому в кожному наступному шарі секції укладені у тому самому напрямку виток у виток, що і у попередньому, і кожний провід секції укладений на провід своєї секції з дотриманням вертикального розташування виток над витком своєї секції відносно осі осердя з утворенням багатшарових робочих і захисних секцій, і з утворенням основних і допоміжних шарів, при цьому допоміжними шарами є, принаймні, перший і, принаймні, останній шари, решта шарів є основними, кожна багатшарова захисна секція утворена витками відповідного захисного проводу із шлейфа, кожна робоча секція утворена витками відповідного робочого проводу із шлейфа, і робочі секції в кожному шарі, що утворюють основну обмотку, розташовані між верхньою і нижньою захисними секціями, а виводи початку і кінця кожної секції розташовані по одному виводу на першому і останньому витках основного шару кожної захисної і кожної робочої секції.

При цьому, осердя може бути виконаним у вигляді тора, а витки робочих і захисних проводів у робочих і захисних секціях у всіх шарах багатшарової обмотки розташовані перпендикулярно до осі осердя.

Основна обмотка запропонованого індуктивного подільника напруги може складатися з будь-якої кількості робочих секцій, розміщених між мінімум двома крайніми захисними секціями, зокрема:

десяти робочих секцій, розміщених між двома крайніми захисними секціями - декадний індуктивний подільник напруги,

п'яти робочих секцій, розміщених між двома крайніми захисними секціями - пентадний індуктивний подільник напруги і т.д.

Виводи кінців та початків секцій, робочих та захисних, з'єднуються послідовно, за винятком витків допоміжних шарів. Витки індуктивного подільника напруги, на які подається вхідна напруга і тече струм між вхідними клемми, це витки послідовно з'єднаних робочих секцій, за винятком їх допоміжних шарів. Захисні секції, за виключенням їх допоміжних шарів, також з'єднуються з витками послідовно з'єднаних робочих секцій, в місцях підключення вхідної напруги. Допоміжні шари обмотки з'єднані з кінцями та початками робочих та захисних секцій тільки одним кінцем, а другий кінець залишається вільним - непідключеним.

Проведені експерименти виявили наступне.

Виконання індуктивного подільника напруги секційним із шлейфу проводів одночасним рівномірно-послідовним укладанням за всією довжиною осердя в кілька шарів шар за шаром спрощує процес намотування та дозволяє розташовувати секції в потрібному місці на осерді та серед інших секцій. Це позитивно впливає на стабільність коефіцієнта масштабного перетворення, допомагає зменшити розкид, як значень активного опору робочих секцій, так і паразитних реактивних параметрів, а саме: паразитних ємностей та індуктивностей розсіювання, що сприяє підвищенню точності індуктивного подільника напруги.

Послідовне з'єднання всіх робочих секцій забезпечує однаковість сили струму у всіх робочих секціях, що забезпечує однаковість значень падінь напруги на всіх робочих секціях за амплітудою та за фазою.

Використання осердя-тора, яке є замкнутим, геометрично-рівномірним магнітопроводом, дозволяє рівномірне, багат шарове розміщення секцій на його поверхні з збереженням геометричної симетрії всього намотування, що гарантує зменшення розкиду, як значень активного опору робочих секцій, так і паразитних реактивних параметрів, а саме, паразитних ємностей та індуктивностей розсіювання, що сприяє підвищенню точності індуктивного подільника напруги.

Індуктивний подільник напруги змінної сили струму являє собою автотрансформатор на холостому ході. Електрорушійна сила самоіндукції індуктивного подільника напруги змінної сили струму пропорційна потокозчепленню Ψ , яке пропорційне кількості витків ω і магнітному потоку $\Phi \rightarrow \Psi = \omega \times \Phi$. В свою чергу, магнітний потік Φ , охоплений цими витками, є пропорційним магнітній індукції B та площі поперечного зрізу магнітопроводу $P_m \rightarrow \Phi = B \times P_m$ (А.В. Іванов-Смоленський. Електричні машини. М. Енергія. 1980, стор. 8 [4]).

Таким чином, якщо всі секції рівномірно укладені на одному осерді, то коефіцієнт масштабного перетворення визначається співвідношенням кількості витків нижнього плеча витків робочих секцій індуктивного подільника напруги до загальної кількості витків робочих секцій.

У індуктивному подільнику напруги, що заявляється, усі секції рівномірно охоплюють усе осердя, тобто середня площа поперечного зрізу магнітопроводу для всіх секцій однакова, незважаючи на можливу неоднорідність площі поперечного зрізу по всій довжині осердя. Теж саме стосується і можливій неоднорідності магнітної індукції по всій довжині осердя, через можливу неоднорідність його магнітних характеристик.

Завдяки цьому коефіцієнт масштабного перетворення визначається тільки співвідношенням кількості витків нижнього плеча витків робочих секцій індуктивного подільника напруги до загальної кількості витків робочих секцій.

До того ж, як правило, зменшення загальної кількості витків, порівняно з прототипом, зменшує значення та розкид значень паразитних параметрів, що сприяє також підвищенню точності індуктивного подільника напруги.

Суть винаходу пояснюють, але не обмежують креслення:

на Фіг.1 зображена принципова схема індуктивного подільника напруги, обмотка якого утворена з шлейфа з 5-ти проводів.

на Фіг.2 - зріз (бічний) індуктивного подільника напруги.

На кресленнях показаний приклад виконання індуктивного подільника напруги, обмотка якого утворена 5-типроводним шлейфом, який укладений у п'ять шарів. В кожній пентаді перший шар обмотки на осерді (торі) складається з витків внутрішнього допоміжного шару обмотки кожної з п'яти секцій індуктивного подільника напруги. П'ятий, останній шар шлейфа складається з витків зовнішнього допоміжного шару обмотки відносно зовнішнього екрана (корпуса) для кожної з 5-ти секцій індуктивного подільника напруги. Між верхньою та нижньою захисними секціями розташовані три робочі секції.

В наведених схемах використанні такі позначення:

- 1 - витки першої робочої секції;
- 2 - витки другої робочої секції;
- 3 - витки третьої робочої секції;
- 4 - витки верхньої захисної секції;
- 5 - витки нижньої захисної секції;

C_m - паразитні ємності між сусідніми секціями індуктивного подільника напруги;

C_{m0} - паразитні ємності між верхньою та нижньою захисними секціями, між краями 5-типроводного шлейфа на торі - осерді;

C_o - паразитні ємності внутрішніх витків допоміжного шару обмотки відносно осердя, які намотані для кожної з 5-ти секцій індуктивного подільника напруги;

C_e - паразитні ємності зовнішніх витків допоміжного шару обмотки відносно для кожної з 5-ти секцій індуктивного подільника напруги;

Вхід - потенційні клеми індуктивного подільника напруги.

Індуктивний подільник напруги, що включає осердя і обмотку, виконану з секційних обмоток з виводами, з'єднаних узгоджено-послідовно між собою. Обмотка утворена одночасним рівномірно-послідовним укладанням за всією довжиною осердя в кілька шарів шар за шаром витків секцій (5), (1), (2), (3), (4) шлейфа з проводів, крайні з яких є захисними проводами, між якими розташовані робочі проводи. В кожному наступному шарі секції укладені у тому самому напрямку виток у виток, що і у попередньому, і кожний провід секції укладений на провід своєї секції з дотриманням вертикального розташування виток над витком своєї секції відносно осі осердя з утворенням багатошарових робочих секцій з витків (1), (2), (3) і захисних секцій з витків (5) і (4). Шари утворені витками (5), (1), (2), (3), (4): перший внутрішній шар є внутрішнім допоміжним шаром, останній зовнішній шар є зовнішнім допоміжним, решта шарів є основними. Нижня багатошарова захисна секція утворена витками (5), верхня багатошарова захисна секція утворена витками (4), відповідних захисних проводів із шлейфа. Кожна робоча секція утворена витками (1), (2), (3) відповідного робочого проводу із шлейфа, і робочі секції в кожному шарі, що утворюють основну обмотку, розташовані між крайніми захисними секціями (5) і (4). Виводи початку і кінця кожної секції розташовані по одному виводу на першому і останньому витках основного шару кожної захисної і кожної робочої секції.

Індуктивний подільник напруги, який заявляється, працює наступним чином.

На потенційні клеми індуктивного подільника напруги (Вхід) подають вхідну напругу. Враховуючи те, що довжина тора по зовнішній стороні більше ніж по внутрішній, завжди $C_M > C_{MO}$, то по зовнішній стороні тора між витками шлейфа з розташованими один за одним проводами робочих секцій витків (1), (2), (3) та проводами захисних секцій витків (5) і (4), з боків, буде відстань.

Повна схема заміщення індуктивного подільника напруги представляє собою розгалужений ланцюг з розподіленими параметрами (L - індуктивність, C - ємність, R - активний опір).

Однакова марка намотувального проводу, діаметр та метал (мідь), а також конструктивно забезпечена рівність довжин проводів усіх секцій гарантує рівність значень активних опорів (R) усіх секцій.

Конструктивне виконання індуктивного подільника напруги забезпечує рівність: паразитних ємностей між сусідніми секціями (C_M); паразитних ємностей внутрішніх допоміжних шарів обмотки відносно осердя, які намотані першими шарами на осердя для кожної секції (C_O); паразитних ємностей зовнішніх допоміжних шарів обмоток відносно зовнішнього екрана (корпуса) для кожної секції, які намотані останніми шарами (C_E); індуктивностей робочих секцій (L); різниць потенціалів між допоміжними шарами обмоток та їх секціями, робочими чи захисними.

Через паразитні ємності C_O та C_E паразитний струм стікає не з робочих секцій (1), (2), (3), а з

обмоток допоміжного шару, які представляють собою розімкнені котушки індуктивності на загальному феромагнітному осерді.

Різниця потенціалів між початком та кінцем кожної обмотки допоміжного шару забезпечується не за рахунок відгалуження робочого струму, що протікає по витках робочих секцій, а завдяки тому, що в обмотках допоміжного шару, наводиться електрорушійна сила. Витки індуктивного подільника напруги по яким тече струм між вхідними клемами, на які подається вхідна напруга індуктивного подільника напруги, це витки послідовно з'єднаних робочих секцій, за винятком витків робочих секцій допоміжного шару основної обмотки. Витки допоміжних шарів обмотки розімкнені і робочий струм по ним не тече, а це значить, що струм не відгалужується. Струм протікає тільки по витках робочих секцій. Через паразитні ємності C_O та C_E паразитний струм стікає з витків допоміжних шарів, а енергія для відтворення цих паразитних струмів доставляється (знімається) в допоміжні шари обмотки електромагнітним шляхом, рівномірно зі всіх витків робочих секцій через осердя. Паразитні струми рівномірно навантажують всі витки робочих секцій електромагнітним шляхом через осердя, а не окремі робочі секції.

Кожна з робочих секцій (1), (2), (3) з двох боків (вгорі і вниз) з'єднується з сусідніми секціями паразитними ємностями C_M - рівними за значенням. Захисні секції (5) і (4) призначені для того, щоб до крайніх робочих секцій (1) і (3) також були приєднані паразитні ємності C_M з тим самим значенням ємності, відносно захисних секцій (5) і (4). Таким чином паразитні ємності C_M сполучені між собою послідовно і приєднані паралельно своїм секціям. Вони, з'єднані послідовно та рівні між собою паразитні ємності C_M , представляють собою рівноподільний ємнісний подільник, підключений паралельно робочим секціям. Цей рівноподільний ємнісний подільник, який підключений паралельно робочим секціям, вирівнює розподіл падінь напруги між робочими секціям, що покращує рівномірність ділення індуктивного подільника напруги. Конструктивне виконання індуктивного подільника напруги призводить до того, що наявність паразитних ємностей C_M не погіршує, як у аналогів та прототипу, а покращує рівномірність ділення.

Захисні секції (5), (4) призначені також для того, щоб з крайніх робочих секцій (1) і (3) не стікали паразитні струми. Паразитні струми стікають з захисних секцій (5) і (4), тобто все відбувається так, як і у допоміжних шарах. Захисні секції (5) і (4) також є розімкненими з одного боку і робочий струм по ним не тече.

Через паразитні ємності C_{MO} паразитний струм стікає не з робочих секцій (1), (3), а з захисних секцій (5), (4), які представляють собою багатовиткові, розімкнені котушки індуктивності на загальному феромагнітному осерді.

Різниця потенціалів між початком та кінцем кожної з захисних секцій (5), (4) забезпечується не за рахунок відгалуження робочого струму, що протікає по витках робочих секцій, а завдяки тому, що в них, захисних секціях (5), (4), наводиться електрорушійна сила. Захисні секції (5), (4) розімкнені і

робочий струм по ним не тече, а це значить, що робочий струм не відгалужується. Струм, робочий, протікає тільки по витках робочих секцій. Через паразитні ємності C_{MO} паразитний струм стікає з захисних секцій (5), (4), а енергія для відтворення цих паразитних струмів доставляється (знімається) в захисні секції (5), (4) електромагнітним шляхом рівномірно зі всіх витків робочих секцій через осердя. Паразитні струми рівномірно навантажують всі витки робочих секцій електромагнітним шляхом через осердя, а не окремі робочі секції.

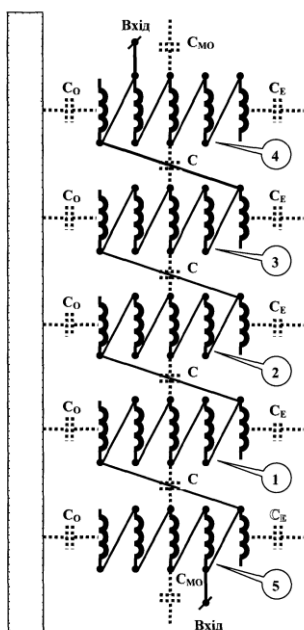
Таким чином, принципово виключений вплив на рівномірність ділення індуктивного подільника напруги паразитних струмів витоку на осердя і зовнішній екран (корпус), оскільки необхідна енергія для живлення паразитних струмів забезпечується електромагнітним шляхом - рівномірно зі всіх робочих секцій, а не з окремих робочих секцій.

Немає шляху витоку паразитним струмам з витків робочих секцій, оскільки вони захищені еквіпотенційними, екранними допоміжними шарами обмотки і еквіпотенційними, екранними захисними секціями. Ці допоміжні шари обмотки та захисні

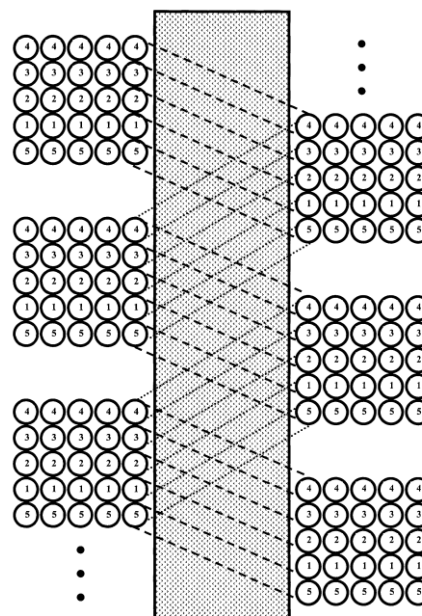
секції і витрачають наведену в них енергію на живлення струмів витоку.

Таким чином удосконалення індуктивного подільника напруги дозволяє зменшити кількість витків його секцій при підвищенні точності масштабного перетворення електричної напруги змінної сили струму.

Крім того, зменшення значень паразитних параметрів, що виникає внаслідок зменшення числа витків, зменшення розбіжності значень паразитних параметрів, що виникає внаслідок повної геометричної симетрії та ефект, що виникає внаслідок застосування захисних секцій та допоміжних шарів обмотки як еквіпотенційного захисту, розширює частотний, амплітудний та динамічний діапазони індуктивного подільника напруги при підвищенні точності масштабного перетворення електричної напруги змінної сили струму. Тобто, при коливаннях частоти та амплітуди напруги в електричній мережі на вході індуктивного подільника напруги не погіршується точність масштабного перетворення у широкому динамічному діапазоні, що є важливим для широкого кола споживачів.



Фіг. 1



Фіг. 2