



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **112665** (13) **C2**  
(51) МПК

**H01F 27/34** (2006.01)

**H01F 30/16** (2006.01)

**H01F 30/06** (2006.01)

**H01F 27/30** (2006.01)

**H01F 27/28** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

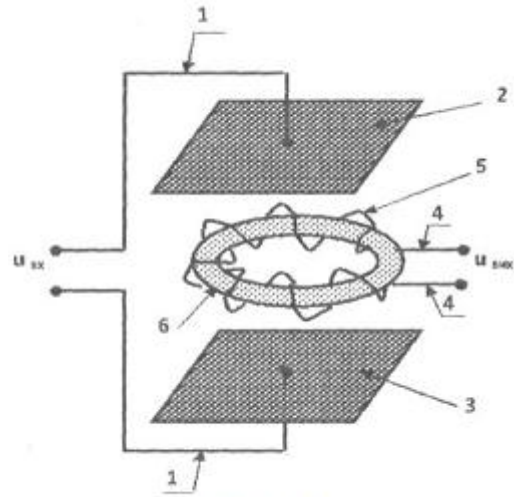
<p>(21) Номер заявки: <b>а 2014 06626</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>13.06.2014</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: <b>10.10.2016</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>10.08.2015, Бюл.№ 15</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.10.2016, Бюл.№ 19</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Кудря Володимир Григорович (UA), Кудря Світлана Пилипівна (UA)</b></p> <p>(73) Власник(и): <b>ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ, вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039 (UA)</b></p> <p>(74) Представник: <b>Щербин Микола Андрійович</b></p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: DE 19927355 A1, 21.12.2000 SU 124023 A, 09.03.1959 US 6204744 B1, 20.03.1997 UA 30655 U, 11.03.2008 UA 4082 U, 15.12.2004 SU 740170 A3, 05.06.1980 US 3374452 A, 19.03.1968</p>
--	---

**(54) ЄМНІСНИЙ ТРАНСФОРМАТОР**

**(57) Реферат:**

Винахід належить до електротехніки та електронної промисловості, зокрема до конструкцій індуктивних та ємнісних трансформаторів. Ємнісний трансформатор містить первинне електричне коло, яке включає металеві провідники, що з'єднують джерело вхідної напруги з перетворювачем струму провідності в реактивну енергію електромагнітного поля, вторинне електричне коло, що включає металеві провідники, які з'єднують вихідну обмотку з навантаженням, причому перетворювач струму провідності в реактивну енергію електромагнітного поля виконано у вигляді двох паралельно розташованих металевих пластин, між якими розміщена вихідна обмотка, що являє собою котушку індуктивності з магнітом'яким осердям у вигляді кільця тороподібної форми, що розташоване в паралельній до пластин первинного електричного кола площині. Технічним результатом, що досягається, є зменшення теплових втрат енергії не менше ніж на третину при одночасному зменшенні габаритів, розширенні робочого діапазону частот та спрощення методів узгодження ємнісного трансформатора з навантаженням та вхідним генератором.

UA 112665 C2



Фиг. 1

Винахід належить до електротехніки та електронної промисловості, зокрема до конструкцій індуктивних та ємнісних трансформаторів.

Існують різноманітні трансформатори, що використовують перетворення струму провідності первинного (вхідного) електричного кола в потоки векторів індукції магнітопроводу з метою формування у вторинному (вихідному) електричному колі напруги (струму). Їх конструкції достатньо відомі і детально описані в науковій літературі та захищені багатьма авторськими свідоцтвами та патентами, що описані за МПК в підрозділах H01F та H01G, це зокрема: PCT/CN2012/000155; PCT/JP2013/050630; PCT/EP2012/005058; PCT/IB2012/056466; PCT/EP2012/004995; PCT/EP2012/005059; 13823741; 13823743; 13785306; 13351062; 11766882; 13823353; 13737888; PCT/AU2013/000002; 13774183; 2011278985; 2011279187; 2011278985; PCT/US2011/067980; PCT/EP2012/076566; PCT/KR2012/011449; 11755141; 2011276576; 13454805; 13705565; 13633303; 2013504919; PCT/US2012/068665; PCT/US2011/065114; 11193227; 2011266859; 13712632; 13709119; 13642266; 2011265567; DE19927355 A1.

Окрім того аналогами для розробки ємнісного трансформатора можуть бути різноманітні публікації та ілюстративні мультимедійні сайти з <http://www.youtube.com>, що відкриваються в пошуковій системі за ключовими словами: котушка індуктивності, котушка Тесла\* трансформатор Тесла, ємнісний трансформатор.

Конструювання трансформаторів ґрунтується на перетворенні струму провідності носіїв зарядів в металевих провідниках в потоки вектора магнітної індукції в осердях індуктивних елементів та в потоки вектора електричної індукції між металевими обкладинками конденсаторів.

Основу обґрунтування способів їх реалізації складає теоретична та прикладна електродинаміка і теорія електричних кіл. Ідеалізований трансформатор можна представити схемою заміщення реактивних компонентів індуктивностей  $L$  та ємностей  $C$ . Поняття "реактивний" означає можливість накопичення та повернення в електричне коло енергії, яка, на відміну від енергії резистивних компонентів, не перетворюється в інші види (теплову, світлову, механічну) безповоротно.

Взаємозв'язок між струмом  $i(t)$  та напругою  $u(t)$  на ідеалізованих реактивних компонентах індуктивності ( $L$ ) та ємності ( $C$ ), записують у вигляді інтегральних та диференціальних співвідношень:

Як впливає з закону Фарадея (електромагнітної самоіндукції)

$$u = L \frac{di}{dt}; \quad i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u dt = i(0) + \frac{1}{L} \int_0^t u dt, \quad (1)$$

де  $L$  - реактивний параметр котушки індуктивності з поперечним перетином, що має площу  $S$ ,  $\epsilon$  коефіцієнтом пропорційності між потоком  $\Phi$  вектора магнітної індукції  $\vec{B}$

$$\Phi(t) = \int_s \vec{j} \vec{B} ds, \quad (2)$$

та струмом  $j$ , як джерелом магнітного поля.

$$\Phi(t) = Li(t), \quad (3)$$

Для ємнісного компонента з означенням поняття струму зсуву між пластинами конденсатора

$$i = C \frac{du}{dt}; \quad u = \frac{1}{C} \int_{-\infty}^t i dt = u(0) + \frac{1}{C} \int_0^t i dt, \quad (4)$$

де  $C$  - параметр, що відіграє роль коефіцієнта пропорційності між потоком  $N$  вектора електричної індукції

$$N = \int_s \vec{j} \vec{D} ds, \quad (5)$$

з поверхні  $S$  однієї пластини конденсатора на іншу

$$N(t) = Cu(t), \quad (6)$$

та напругою  $u$ , що є опосередкованим джерелом (різноїменних зарядів, які і створюють потік  $N$ ).

5 Фізичні процеси трансформаторів та інших реактивних багатополісників відрізняються лише тим, що потоки векторів індукції (2), (5), відгалужуючись їх концентраторами, направляються в інші котушки та місця накопичувачів заряду, дня перетворення останніх відповідно в напругу (1) та струм (4).

10 Схематично фізичні процеси, що відбуваються в трансформаторах, можна описати у вигляді послідовності перетворень (фіг. 3).

Вхідні та вихідні величини (напруги та струми), в свою чергу, також визначаються операціями (потік, циркуляція) над векторами

$$\bar{D} = \varepsilon \bar{E}, \quad \bar{J} = \sigma \bar{E}, \quad \bar{B} = \mu \bar{H}, \quad (7)$$

15 де  $\bar{E}$ ,  $\bar{H}$  - вектори напруженості електромагнітного поля в "вакуумі",  $\mu$  - магнітна проникність,  $\varepsilon$  - діелектрична проникність,  $\sigma$  - питома електропровідність опору навантаження. Матеріальні рівняння (7) в навантаженні та генераторі не мають відношення до внутрішніх процесів, перетворень потоків (фіг. 2) і тому в подальшому не деталізуються.

20 Фізичні процеси перетворення потоків трансформаторами в загальному вигляді визначаються рівняннями Максвелла

$$\operatorname{rot} \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t}, \quad \operatorname{rot} \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t}, \quad (8)$$

тобто змінне у часі магнітне поле породжує електричне і навпаки.

25 В ізотропних однорідних середовищах взаємозв'язок інтегральних потоків (фіг. 2) через поверхні ненульової площі з диференціальними значеннями векторів напруженості електромагнітного поля (8) в окремих точках характеризується двома факторами: взаємоотроgonальністю напрямів потоків  $N$  та  $\Phi$  (фіг. 2), де вертикальними векторами зображуються первинні (початкові) потоки; витискання вторинного інтегрального потоку з центральної (однорідної зони силових ліній) первинного потоку на периферію.

30 Аналізуючи вищенаведені патенти, слід зазначити, що конструювання трансформаторів, виконується за схемою (фіг. 2a), що вимагає використання котушок індуктивності як джерел магнітного потоку в первинному електричному колі трансформатора, з повним спектром недоліків, що характеризують ці конструкції:

35 теплові втрати енергії в металевих провідниках котушки;  
виникнення струмів Фуко в магнітопроводі та закріплюючих трансформатор металевих елементах;

зростання втрати енергії з ростом частоти, що обмежує діапазон частот,

та унеможливує зменшення габаритів трансформаторів;

ускладнення проблеми узгодження трансформаторів з генератором та навантаженням.

40 Намагання усунути перераховані недоліки призвело до розробки ємнісних трансформаторів, в яких конструкція трансформаторів передбачає часткове використання конденсаторів у первинному електричному колі. Зокрема до них належать вимірні трансформатори силової електротехніки, які по суті не є трансформаторами, а звичайними подільниками напруги, або трансформатори, конструкції яких наведені в патенті DE 19927 355 A1. Частина таких трансформаторів, залишаючись по суті індуктивними, містять зосереджені конденсатори, що підключаються на вході або в розрив первинної обмотки трансформатора. Окрім того, заміна зосередженої ємності на розподілену, що виготовляється у вигляді стрічкового конденсатора, тим не менше, відповідає структурі (фіг. 2a), тобто первинний магнітний потік створюється струмом провідності, а це не усуває перерахованих вище недоліків, а лише спрощує процедуру

50 узгодження трансформатора з генератором на його вході.

Таким чином, в трансформаторах, конструкції яких розробляються за схемою перетворень потоків (фіг. 2a), практично неможливо усунути зазначені вище недоліки. Дійсно, існуючі види трансформаторів розрізняються лише за формою, а не за суттю. Їх відмінні риси характеризуються лише зміною розмірів та умовами експлуатації, що обмежує сферу їх

застосування та функціональну універсальність. Зокрема струм провідності, що тече через провідники, викликає теплові втрати енергії в провідниках котушки за рахунок ефектів близькості, витиснення та струмів Фуко, що накладає обмеження на їх застосуванні в діапазоні високих частот, наприклад, як компонентів траспондерів (заявка № 99101833) або швидкодіючих монолітних інтегральних схем.

Найближчим до винаходу, що заявляється, є трансформатор з ємнісним опором (дивись патент Федеративної Республіки Німеччини № 19927 355 A1).

Вказаний трансформатор містить: первинне електричне коло, яке включає стрічковий конденсатор, намотаний у вигляді котушки на магнітом'якому осерді, а також гальванічно непов'язані вхідні затискачі для підключення джерела напруги; вторинне електричне коло, яке включає металевий провідник, намотаний на стрижні магнітопроводу і гальванічно пов'язані вихідні затискачі для підключення до них навантаження трансформатора.

Конструкція даного трансформатора вибрана прототипом.

Прототип і винахід, що заявляється, мають наступні спільні ознаки:

первинне електричне коло, яке включає металеві провідники, що з'єднують джерело вхідної напруги з перетворювачем струму провідності в реактивну енергію електромагнітного поля;

вторинне електричне коло, що включає металеві провідники, що з'єднують вихідну обмотку з навантаженням.

Прототипу притаманні наступні недоліки.

1. Стрічковий конденсатор, яким намотана первинна обмотка не являється фактором перетворення, "... активного струму в реактивний...", оскільки поняття активний та реактивний відносяться не до струмів, чи напруг, а до потужностей. Як впливає з пункту 4 формули винаходу прототипу, малось на увазі перетворення струму провідності металевих провідників в струм зсуву між обкладками конденсатора, який сконцентровано в просторі між його стрічковими пластинами і не виходить за межі об'єму діелектричної стрічки, що розділяє обкладки. Внаслідок закону безперервності струм зсуву та струм провідності лише за величиною дорівнюють один одному, але мають різну природу свого існування. Зокрема кожний з них характеризується своєю локалізацією та орієнтацією, які свідчать, що струм зсуву немає відношення до струмів провідності кожної окремої обкладки, які і є джерелом магнітного потоку магнітопроводу.

Електричну схему заміщення конструкції, залежності від її цільового призначення, можна представляти по різному. Зокрема по відношенню до вхідного генератора - це довга лінія з коротко замкнутим входом та виходом до яких підключено зовнішній генератор, що живить вхідну обмотку трансформатора. Погонні параметри довгої лінії з магнітно-зв'язаними котушками розраховують методами електродинаміки. Розглядаючи схему заміщення вхідної обмотки, як чотириполюсника, мусимо констатувати, що це теж свого роду трансформатор, що складається з двох обмоток, які намотані на магнітопровід, між якими існує магнітний взаємозв'язок, через осердя магнітопроводу та ємнісний зв'язок через розподілену по довжині котушок стрічкового конденсатора ємністю  $C$ . Величина взаємної індуктивності  $M$  між котушками практично дорівнює індуктивності однієї з них. Зрозуміло, що величина  $M$  не перевищує індуктивність  $L$  кожної котушки окремо. Враховуючи, що первинна обмотка конструкції є по суті сама трансформатором з індуктивно-ємнісним зв'язком між обмотками, формула по розрахунку резонансної частоти, що приведена в прототипі не є самодостатньою. Тим більше, що для взаємозв'язаних контурів в залежності від коефіцієнта зв'язку між ними існують не один, а декілька резонансів. Залишаючи певні термінологічні та смислові неточності, що викладені вище, поза увагою, все ж можна зробити наступне зауваження по суті.

Трансформатор, використовує струм зсуву лише для реалізації вхідної ємності, спосіб його побудови відповідає (фіг. 1б). Згідно з чим орієнтація потоків індукції відповідає (фіг. 2а), де первинним потоком, є потік вектора магнітної індукції. А електричне поле локалізовано в вузьких межах між обкладками стрічкового конденсатора і до способу формування потоку вектора магнітної індукції, як і його "транспортування" магнітопроводом до вторинної обмотки трансформатора, відношення не має. І саме тому частина переваг, що пов'язана з підміною понять струму провідності на струм зсуву, що заявлені в прототипі, не відповідає дійсності.

Викладену тезу, що вказує на неточність п. 4 формули винаходу прототипу можна перевірити не лише методами теорії електродинаміки, та електричних ланцюгів, а і проведенням натурного експерименту, суть якого в виконанні досліду короткого замикання котушок стрічкового конденсатора:

слід закортити металевим провідником початок та кінець першої, а також і другої обкладки стрічкового конденсатора, залишаючи при цьому режим відсутності гальванічного контакту між ними.

металеві провідники, якими закорочуються стрічкові котушки, повинні мати якомога меншу бічну поверхню у порівнянні з поверхнею обкладинок, що дозволить зберегти значення ємності стрічкового конденсатора, яку він мав до закорочення стрічкових обмоток.

5 За таких умов проведення експерименту зникає струм провідності разом з трансформаторним ефектом, а струм зсуву існує лише між обкладинками і не створює магнітний потік в магнітопроводі, як стверджувалося в прототипі.

2. Струм, що тече через металеві провідники, викликає теплові втрати енергії в провідниках котушки за рахунок ефектів близькості, витиснення струмів та струмів Фуко, що накладає обмеження на їх застосуванні, як, наприклад, компонентів траспандера (а.с. № 99101833) або швидкодіючих монолітних інтегральних схем на частотах, що сягають мега- та гігагерц.

3. Частотні характеристики трансформатора, характеризуються завалом на високих частотах, що обмежує можливості їх узгодження з частото залежними навантаженнями як на вході, так і на виході широкому діапазоні частот.

4. В багатьох практичних випадках, в тому числі і нанотехнологіях, відокремити електричну складову від магнітної в єдиному електромагнітному процесі неможливо. І саме тому для діагностування та моделювання таких процесів доцільно мати трансформатори напруг, в яких, як первинний, використовують потік вектора електричної індукції (фіг. 2б), що не дозволяє виконувати конструкція прототипу.

20 Таким чином, головними недоліками конструкції є: втрати енергії в провідниках первинної обмотки за рахунок струму провідності, що тече в її котушках за рахунок ефектів близькості, витиснення та струмів Фуко; ускладнення елементів узгодження з частотно-залежним навантаженням як на вході, так і на виході; обмеження по застосуванню в діапазонах високих частот.

25 В основу винаходу<sup>7</sup>, що заявляється, поставлено задачу - розробити удосконалений ємнісний трансформатор, в якому шляхом оригінального виконання перетворювача струму провідності в реактивну енергію електромагнітного поля забезпечити зменшення теплових втрат енергії не менше ніж на третину при одночасному зменшенні габаритів, розширення робочого діапазону частот та спрощення методів узгодження ємнісного трансформатора з навантаженням та вхідним генератором.

30 Поставлена задача вирішена ємнісним трансформатором, що містить первинне електричне коло, яке включає металеві провідники, що з'єднують джерело вхідної напруги з перетворювачем струму провідності в реактивну енергію електромагнітного поля, вторинне електричне коло, що включає металеві провідники, які з'єднують вихідну обмотку з навантаженням тим, що, на відміну від прототипу, перетворювач струму провідності в реактивну енергію електромагнітного поля виконано у вигляді двох паралельно розташованих металевих пластин, між якими розміщена котушка індуктивності з магнітом'яким осердям у вигляді кільця тороподібної форми.

Винахід, що заявляється, пояснюється кресленнями де:

фіг. 1 - схема конструкції ємнісного трансформатора;

40 фіг. 2 - схема перетворення електричного  $N$  та магнітного  $\Phi$  потоків в трансформаторах: а - початковим є магнітний потік; б - початковим є електричний потік;

фіг. 3 - варіанти схем пасивних перетворювачів вхідних струмів та напруг у вихідні за допомогою одно та дволанцюгового електричного кола.

45 На фіг. 2 ілюструється орієнтація потоків векторів індукції електромагнітного поля трансформаторів, де вертикальні потоки формуються первинним (вхідним), а кільцеподібні - є результатом перетворення первинного потоку у потоки вектора індукції вторинного (вихідного) електричного кола трансформатора.

50 На фіг. 3 ілюструється перетворення фізичних величин в: а - котушці індуктивності; б - індуктивному трансформаторі; в - конденсаторі; г - ємнісному трансформаторі, - де і - вхідний (вихідний) струм),  $u$  - вхідна (вихідна) напруга,  $\Phi$ ,  $N$  - потоки векторів індукції відповідно магнітного та електричного поля.

Ємнісний трансформатор (фіг. 1) містить: первинне (вхідне) і вторинне (вихідне) електричні кола.

55 Первинне електричне коло включає два металеві провідники 1, які сполучені з паралельно розташованими металевими пластинами 2, 3. Металеві провідники 1 з'єднують металеві пластини 2, 3 із зовнішньою напругою  $u_{вх}$ .

60 Вторинне електричне коло включає металеві провідники 4, які сполучені з обмоткою 5 котушки індуктивності, намотаною на магнітом'яке осердя 6, виконане у вигляді тороподібного кільця. Металеві провідники 4 з'єднують вихідну обмотку 5 котушки індуктивності з вихідною напругою  $u_{вих}$ .

Заявлений трансформатор працює наступним чином.

Прикладена до входу (фіг. 1) змінна напруга  $u_{вх}$  зовнішнього джерела електроенергії через металеві провідники 1 викликає накопичення різнойменних зарядів на пластинах 2 та 3. Для фіксованого моменту часу, наприклад, пластина 2 може мати додатний заряд, а пластина 3 - від'ємний. Ці заряди призводять до виникнення зосередженого між пластинами 2, 3 електричного поля. Силові паралельні лінії цього, практично однорідного, поля беруть початок на пластині 2 з додатними зарядами та закінчуються на пластині 3 з від'ємними зарядами. В такий спосіб формується первинний потік вектора електричної індукції  $N$  (фіг. 2б) первинного електричного кола 1, 2, 3 емнісного трансформатора. Потік  $N$  є елементом зв'язку вхідного та вихідного електричного кола. При зміні у часі напруги  $u_{вх}$  в ортогональній до напрямку потоку  $N$  площині навколо кожної силової лінії електричного поля у відповідності з першим рівнянням Максвелла (8) виникають замкнуті силові лінії магнітного поля. В результаті потік вектора магнітної індукції  $\Phi$  (фіг. 2б) концентрується по периферії у вигляді, циліндричного кільця, що охоплює простір між металевими пластинами 2, 3. Максимальна концентрація потоку в місці розташування вторинної обмотки 5 забезпечується ефектом його витискання від центру до периферії внаслідок симетричної компенсації в центральній частині та асиметричної колінарності векторів магнітної індукції по периферії. В просторовому кільці максимального магнітного потоку розташоване тороподібне осердя 6, що виготовлене з магнітом'якого матеріалу. Котушка індуктивності 5, 6 зорієнтована в ортогональній до напрямку потоку вектора електричної індукції  $N$  площині. Внаслідок дії закону Фарадея та рівнянь Максвелла в кожному витку котушки індуктивності 5, 6 у відповідності з другим рівнянням Максвелла (8) виникає електрорушійна сила, тобто вторинний потік вектора електричної індукції, що зосереджений в об'ємі обмотки 5 вихідного кола трансформатора 4, 5, 6. Джерелом цієї електрорушійної сили є струм зсуву між пластинами 2 та 3.

В сумі напруги кожного витка обмотки 5, (фіг. 1) складають напругу вихідного електричного кола трансформатора  $u_{вих}$  між провідниками 4.

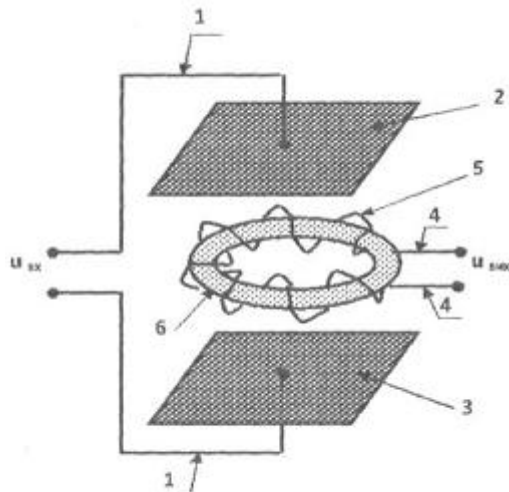
Зауважимо, що ефект трансформації має місце лише для змінної у часі напруги  $u_{вх}$ , оскільки постійне у часі електричне поле не може породжувати струм зсуву, між пластинами 2, 3 (фіг. 1), які виконують роль конденсатора, внаслідок чого такий трансформатор можна назвати емнісним трансформатором, оскільки первинне коло в трансформаторі не використовує індуктивних обмоток.

Для реалізації елементів, що формують потоки індукції первинного 1, 2, 3 та вторинного 4, 5, 6 електричного кола (фіг. 1), з використанням струмів зсуву та провідності можна застосовувати не лише металеві, а також і діелектричні (наприклад, сегнетоелектрики), напівпровідникові та анізотропні речовини, що суттєво розширює функціональні можливості не лише заявленого емнісного трансформатора, а також цілої низки реактивних компонентів, що реалізуються за схемами, а, б, в (фіг. 3).

Зовнішні підключення - джерела вхідного сигналу  $u_{вх}$  та навантаження  $u_{вих}$  можуть мати різну: фізичну, хімічну, чи біологічну природу та внутрішню структуру за рахунок більш гнучкої системи варіантів їх узгодження з емнісним трансформатором.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

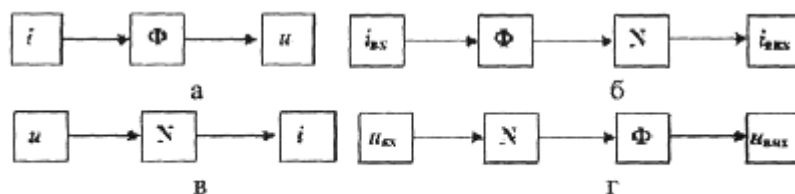
Емнісний трансформатор, що містить первинне електричне коло, яке включає металеві провідники, що з'єднують джерело вхідної напруги з перетворювачем струму провідності в реактивну енергію електромагнітного поля, вторинне електричне коло, що включає металеві провідники, які з'єднують вихідну обмотку з навантаженням, який **відрізняється** тим, що перетворювач струму провідності в реактивну енергію електромагнітного поля виконано у вигляді двох паралельно розташованих металевих пластин, між якими розміщена вихідна обмотка, що являє собою котушку індуктивності з магнітом'яким осердям у вигляді кільця тороподібної форми, що розташоване в паралельній до пластин первинного електричного кола площині.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

Комп'ютерна верстка Л. Ціхановська

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