



УКРАЇНА

(19) UA (11) 34224 (13) A

(51) 6 H01F30/12, H02H7/08, H02J3/01,
H02J3/04, H02J3/26, H02M7/53МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА ВИНАХІДвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) ФІЛЬТР ВИЩИХ ГАРМОНІК СТРУМІВ ТРИФАЗНОЇ МЕРЕЖІ

(21) 99063336

(22) 15.06.1999

(24) 15.02.2001

(33) UA

(46) 15.02.2001, Бюл. № 1, 2001 р.

(72) Музиченко Олександр Дмитрович, Музиченко
Юрій Олександрович, Музиченко Оксана Олександрівна

(73) Музиченко Олександр Дмитрович

(57) 1. Фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі, який містить затискачі трьох лінійних та нульової вхідних фаз трифазної мережі і тристрижневий магнітопровід, на кожному стрижні якого розміщено першу та другу рівні за кількістю витків обмотки, причому перші та другі обмотки з'єднані між собою у "зигзаг", а саме - кожен один початковий вивід першої обмотки з'єднаний із затискачем однієї лінійної фази трифазної мережі, кожен один кінцевий вивід першої обмотки, розташованої на одному стрижні, приєднаний до одного кінцевого виводу другої обмотки, розташованої на іншому стрижні, а початкові виводи других обмоток з'єднані між собою та затискачем нульової фази мережі, **відрізняється** тим, що фільтр споряджено затискачами вихідних фаз та трьома однофазними трансформаторами, які містять одну первинну та дві вторинні обмотки, які мають однакову кількість витків і проміжні виводи, первинні обмотки кожного однофазного трансформатора підімкнені до затискачів двох лінійних фаз трифазної мережі, а вторинні обмотки кожного однофазного трансформатора з'єднані між собою різноименними виводами і

точка цього з'єднання приєднана до затискача третьої лінійної фази мережі, причому затискачі вихідних лінійних фаз фільтру приєднані до виводів вторинних обмоток однофазних трансформаторів, а затискачі вихідних нульових фаз приєднані до затискача вхідної нульової фази.

2. Фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі за п. 1, який **відрізняється** тим, що обмотки однофазних трансформаторів розміщені на стрижнях тристрижневого магнітопроводу.

3. Фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі за пп. 1-2, який **відрізняється** тим, що перші або другі основні обмотки фільтру виконані з проміжними виводами.

4. Фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі за пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що затискачі вихідних фаз поділені на групи, кожна з яких має чотири затискачі, з яких три є затискачами лінійних фаз, а один є затискачем нульової фази, причому кожна група затискачів приєднана до окремого фідера трифазної мережі.

5. Фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі за пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що кількість вихідних лінійних фаз фільтру дорівнює дев'яти, причому ці фази належать до трьох трифазних систем напруг, зсунутих між собою по фазі на кут 20 ел. гр..

6. Фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі за пп. 1-5, який **відрізняється** тим, що між першими та другими обмотками має місце тісний магнітний зв'язок.

Фільтр відноситься до електротехніки та електроенергетики і може бути використаний як засіб для зменшення струмів та напруг вищих гармонік у трифазній чотирипровідній мережі.

Майже всі види сучасної прогресивної електротехнології викликають у трифазній мережі вищі гармоніки. Найбільш потужними джерелами вищих гармонік є електродугові печі, електрозварювальні апарати, прокатні стани, руднотермічні печі, тиристорний привід, електрифікований транспорт, електролізні установки, газорозрядні лампи, телевізори, комп'ютери тощо. Такі нелінійні приймачі обумовлюють появу у живильній мережі 3-ої, 5-ої, 7-ої, 9-ої, 11-ої, 13-ої і т. д. гармонік струму та напру-

ги, які порушують нормальні режими роботи іншого електричного та електронного обладнання, викликаючи збої в роботі та вихід з ладу обладнання, а також викликають втрати енергії у живильних мережах.

Для зменшення гармонік струму та напруги у трифазній мережі застосовують фільтри.

Відомі фільтри вищих гармонік струму [1, 2, 3, 11], які мають у своєму складі послідовні з'єднання конденсаторної батареї та котушки індуктивності, настроєних в резонанс з частотою тієї гармоніки, яку необхідно подавити у напрузі та струмі мережі. Ці фільтри мають такі недоліки: кількість послідовних з'єднань конденсаторної батареї та котушки

(13) A
(11) 34224
(19) UA

індуктивності дорівнює кількості гармонік, які необхідно подавити; велика вартість фільтру; ненадійність роботи конденсаторних батарей.

Відомі напівпровідникові компенсаційні фільтри вищих гармонік [4, 5, 6, 11], які містять напівпровідникові генератори гармонік, фази яких зсунуті на кут 180 ел. гр. порівняно до фаз гармонік мережі. Генеровані гармоніки у протифазі вводять в електричну мережу, де вони компенсують вищі гармоніки мережі і, таким чином, покращують спектральний склад форми кривої струму, отже і напруги. Ці фільтри мають універсальні можливості, але через велику вартість та малу надійність напівпровідникових елементів такі фільтри не знайшли широкого поширення. Відомі фільтри вищих гармонік струмів [7-10, 12], виконані на основі трансформаторів та автотрансформаторів, в яких відбувається взаємна компенсація гармонік струмів за рахунок збільшення кількості фаз вихідних фазних напруг та рівномірного розподілу нелінійних навантажень по всім вихідним фазам таких перетворювачів. Такі фільтри виконані на основі трансформаторів або автотрансформаторів, три обмотки яких ввімкнені у зірку, а решта обмоток ввімкнена за схемами подвійного та потрійного "зигзагу". При цьому вхідна трифазна чотирипровідна система напруг перетворюється на К вихідних трифазних чотирипровідних систем напруг, кожна з яких зсунута по фазі напруги на кут 60 /К ел. гр. Недоліками цих фільтрів є відносно велика встановлена потужність елементів фільтру, рівна 1,05-1,20, а також вартість фільтру.

Найближчим аналогом-прототипом до фільтру, який заявляється, є автотрансформатор, обмотки якого ввімкнені в "зигзаг" [13]. Такий фільтр містить затискачі трьох лінійних та нульової вхідних фаз трифазної мережі і тристрижневий магнітопровід, на кожному стрижні якого розміщено першу та другу рівні за кількістю витків обмотки, причому перші та другі обмотки з'єднані між собою у "зигзаг", а саме: кожен один початковий вивід першої обмотки з'єднаний із затискачем однієї лінійної фази трифазної мережі, кожен один кінцевий вивід першої обмотки, розташованої на одному стрижні, приєднаний до одного кінцевого виводу другої обмотки, розташованої на іншому стрижні, а початкові виводи других обмоток з'єднані між собою та затискачем нульової фази мережі.

Недоліком фільтру-прототипу є те, що він компенсує у трифазній мережі лише симетричні гармоніки струму нульової послідовності, кратні трьом, тобто 3-тю, 9-ту, 15-ту і т. ін. Такий фільтр не компенсує симетричні складові прямої та зворотної послідовності гармонік, кратних трьом, а також не компенсує 5-ту, 7-му, 11-ту, 13-ту і т. ін. гармоніки струму трифазної мережі.

У зв'язку з цим була поставлена задача - збільшити кількість гармонік, які взаємно компенсуються, включаючи 5-ту, 7-му, 11-ту, 13-ту і т. ін. гармоніки, але при цьому використати переваги автотрансформатора, обмотки якого ввімкнуті у "зигзаг". Ця задача розв'язана також шляхом множення кількості фаз [8, 10], але при цьому принципова схема змінена так, що при збільшенні кількості фаз встановлена потужність фільтру зменшена у 1,6-2,0 рази.

Поставлена мета досягнута тим, що до фільтру, який містить затискачі трьох лінійних та нульової вхідних фаз трифазної мережі і тристрижневий магнітопровід, на кожному стрижні якого розміщено першу та другу рівні за кількістю витків обмотки, причому перші та другі обмотки з'єднані між собою у "зигзаг", а саме - кожен один початковий вивід першої обмотки з'єднаний із затискачем однієї лінійної фази трифазної мережі, кожен один кінцевий вивід першої обмотки, розташованої на одному стрижні, приєднаний до одного кінцевого виводу другої обмотки, розташованої на іншому стрижні, а початкові виводи других обмоток з'єднані між собою та затискачем нульової фази мережі, додані затискачі вихідних фаз та три однофазні трансформатори, які містять одну первинну та дві вторинні обмотки, що мають однакову кількість витків і проміжні виводи, первинні обмотки кожного однофазного трансформатора підімкнені до затискачів двох лінійних фаз трифазної мережі, а вторинні обмотки кожного однофазного трансформатора з'єднані між собою різноименними виводами і точка цього з'єднання приєднана до затискача третьої лінійної фази мережі, причому затискачі вихідних лінійних фаз фільтру приєднані до виводів вторинних обмоток однофазних трансформаторів, а затискачі вихідних нульових фаз приєднані до затискача вхідної нульової фази.

Для зменшення витрат електротехнічної сталі обмотки однофазних трансформаторів розміщені на стрижнях тристрижневого магнітопроводу.

Для регулювання опору нульової послідовності перші або другі обмотки фільтру виконані з проміжними виводами.

Для підсилення ефекту компенсації вищих гармонік струмів у трифазній мережі затискачі вихідних фаз поділені на групи, кожна з яких має чотири затискачі, серед яких три є затискачами лінійних фаз, а один є затискачем нульової фази, причому кожна група затискачів приєднана до окремого фідера трифазної мережі.

Оптимальні характеристики фільтр має при дев'яти вихідних лінійних фазах, причому ці фази належать до трьох трифазних систем напруг, зсунутих між собою по фазі на кут 20 ел. гр..

Для додаткового зниження опору нульової послідовності між першими та другими обмотками має місце тісний магнітний зв'язок.

Для кращого пояснення суті фільтру подані графічні матеріали.

На фіг. 1 показане топографічне зображення принципової схеми і режиму фільтру, показаного на фіг. 3.

На фіг. 2 подана блок - схема фільтру з поділом затискачів вихідних фаз на групи.

На фіг. 3 показана принципова схема з'єднань обмоток фільтру при збільшенні кількості вихідних фаз утричі.

На фіг. 1, 2 та 3 позначено:

- 1 - фільтр вищих гармонік струмів трифазної мережі;
- 2 - тристрижневий магнітопровід;
- 3, 4, 5 - перші обмотки;
- 6, 7, 8 - другі обмотки;
- 9, 10, 11- первинні обмотки однофазних трансформаторів;

12 та 13, 14 та 15, 16 та 17 - вторинні обмотки однофазних трансформаторів.

Будова фільтру. Фільтр 1 складається із: тристрижневого магнітопроводу 2; трьох перших обмоток 3, 4, 5; трьох других обмоток 6, 7, 8; трьох первинних обмоток 9, 10, 11 однофазних трансформаторів; шести однакових за кількістю витків вторинних обмоток 12-17 однофазних трансформаторів.

Перші 3-5 та другі 6-8 обмотки між собою з'єднані у "зигзаг". Початкові виводи перших обмоток 3-5 приєднані до затисків А, В, С, О вхідної трифазної чотирипровідної мережі.

Обмотки однофазних трансформаторів можуть бути розміщені як на трьох окремих магнітопроводах, так і на стрижнях тристрижневого магнітопроводу, на якому розміщені обмотки, ввімкнені у "зигзаг", причому топографічне зображення фільтру однакове для обох цих варіантів виконання фільтру (фіг. 1).

Первинні обмотки однофазних трансформаторів приєднані до затисків А, В, С вхідних лінійних фаз. Вторинні обмотки 12 та 13, 14 та 15, 16 та 17 з'єднані між собою різнойменними виводами, і точка цього з'єднання приєднана до вхідної лінійної фази, причому первинна обмотка однофазного трансформатора приєднана до перших двох затисків, наприклад, до затисків А та В вхідних лінійних фаз, а точка вказаного вище з'єднання приєднана до затискача третьої вхідної лінійної фази трифазної мережі, наприклад, до затискача С.

На фіг. 3 показана принципова схема з'єднань обмоток фільтру, причому первинні 9-11 та вторинні 12-17 обмотки однофазних трансформаторів розміщені на стрижнях тристрижневого магнітопроводу.

Перші або другі основні обмотки фільтру виконані з проміжними виводами (на кресленнях не показано). Ці проміжні виводи необхідні для регулювання опору нульової послідовності фільтру, який у міських мережах повинен мати більшу величину, у сільських мережах - меншу.

Затискачі вихідних фаз поділені на групи (фіг. 2), кожна з яких (А₁, В₁, С₁, О₁; А, В, С, О; А₂, В₂, С₂, О₂) має чотири затискачі, з яких три є затискачами лінійних фаз, а один (О₁, О, О₂) є затискачем нульової фази, причому кожна група затискачів приєднана до окремого фідера трифазної мережі.

Оптимальне співвідношення між ефективністю компенсації вищих гармонік струмів та кількістю вихідних лінійних фаз фільтру має місце при де-в'яти вихідних лінійних фазах, причому ці фази належать до трьох трифазних систем напруг, зсунутих між собою по фазі на кут 20 ел. гр. (фіг. 1 та 3).

Для зниження опору нульової послідовності фільтру між першими та другими обмотками має місце тісний магнітний зв'язок. Тісний зв'язок має місце при зближенні перших та других обмоток та взаємному проникненні провідників перших обмоток у другі і навпаки.

Пріоритетний варіант виконання показаний на фіг. 1, 2 та 3. Він включає у себе всі вищевказані ознаки.

У фільтрах з мінімальною встановленою потужністю кількість витків у вторинних обмотках та кількість проміжних виводів у них залежить від мінімального значення фазного кута між напругою вихідної фази фільтру та напругою найближчої до неї лінійної фази мережі. Значення цього кута слід вибирати рівним $\pm 30/K$ при парному значенні К та $\pm 60/K$ - при непарному значенні К, а максимальне значення фазного кута між напругами вихідної та вхідної лінійних фаз фільтру дорівнює $\pm 30(1-1/K)$, де К - ціле натуральне число, причому $K > 1$.

Робота фільтру. Фільтр доцільно застосовувати у місцях розгалуження однієї трифазної мережі на окремі фідери, причому кожен з цих фідерів повинен мати приблизно однорідне лінійне та нелінійне навантаження. Відомо, що у даний час масово використовуються нелінійні навантаження (кольорові та чорно-білі телеприймачі, радіоприймачі, комп'ютери, компактні економічні освітлювальні лампи тощо), які викликають у живильній мережі 3-тю, 5-ту, 7-му і т. ін. гармоніки струму. Ці гармоніки струму шкідливо впливають на роботу електронної апаратури, додатково нагрівають проводи та трансформатори і викликають додаткові втрати енергії. Збитки мають місце при прямому приєднанні нелінійних навантажень до живильної мережі.

Для компенсації вищих гармонік струмів у розсітку між живильною мережею та розгалуженням фідерів вмикають даний фільтр. Затискачі А, В, С, О вхідних фаз фільтру приєднують до живильної трифазної мережі, а кожен групу затискачів А-А₂, В-В₂ та С-С₂ приєднують до окремих фідерів, які живлять нелінійні та лінійні навантаження (фіг. 2). Нелінійні навантаження генерують вищі гармоніки струмів, які протікають у вихідних фазах фільтру. Для вищих гармонік струмів нульової послідовності фільтр є шунтом, який має низький опір (0,05-0,10 Ом). Тому різко зменшуються гармоніки струму, кратні трьом, які проходять через затискачі А, В, С фільтру у живильну мережу.

Струм у вихідній фазі А має такий спектр гармонік:

$$I(A) = I_1 \cdot \cos(\omega t) + I_3 \cdot \cos(3\omega t) + I_5 \cdot \cos(5\omega t) + I_7 \cdot \cos(7\omega t) + I_9 \cdot \cos(9\omega t) + \dots \quad (1)$$

де $I_1, I_3, I_5, I_7, I_9, \dots$ - амплітуди гармонік струму.

Із всього спектру виділимо гармоніку, наприклад, п'яту і покажемо, що при збільшенні кількості вихідних фаз утричі у струмах вхідних фаз буде відсутня п'ята гармоніка.

У вихідних фазах струм п'ятої гармоніки дорівнює:

$$\begin{aligned} I(A) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t + 5\pi/9); \\ I(A) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t); \\ I(A_2) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t - 5\pi/9); \\ I(B_1) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t - 25\pi/9); \\ I(B) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t - 30\pi/9); \\ I(B_2) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t - 35\pi/9); \\ I(C_1) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t - 55\pi/9); \\ I(C) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t - 60\pi/9); \\ I(C_2) &= I_5 \cdot \cos(5\omega t - 65\pi/9). \end{aligned} \quad (2)$$

Із кожної вихідної фази струм п'ятої гармоніки (2) трансформується у вхідну лінійну фазу. Визначимо величину п'ятої гармоніки у вхідній лінійній фазі, наприклад, у фазі А.

$$\begin{aligned}
 I(A)_{Bx} = & I_5 \cdot \cos(5\omega t + 5\pi/9) \cdot \cos(\pi/9) + I_5 \cdot \cos(5\omega t) \cdot \cos(0) \\
 & + I_5 \cdot \cos(5\omega t - 5\pi/9) \cdot \cos(-\pi/9) + \\
 & + I_5 \cdot \cos(5\omega t - \pi/9) \cdot \cos(-5\pi/9) + \\
 & + I_5 \cdot \cos(5\omega t - 30\pi/9) \cdot \cos(-6\pi/9) + \\
 & + I_5 \cdot \cos(5\omega t - 35\pi/9) \cdot \cos(-7\pi/9) + \\
 & + I_5 \cdot \cos(5\omega t - 55\pi/9) \cdot \cos(-11\pi/9) + \\
 & + I_5 \cdot \cos(5\omega t - 60\pi/9) \cdot \cos(-12\pi/9) + \\
 & + I_5 \cdot \cos(5\omega t - 65\pi/9) \cdot \cos(-13\pi/9) = 0 \quad (3)
 \end{aligned}$$

Аналогічно до п'ятої компенсуються 7-а, 11-а, та 13-а гармоніки струму. Розрахункові вирази аналогічні до (1)-(3). Фільтр не компенсує 17-у, 19-у і вищі гармоніки струму.

У загальному вигляді, якщо фільтр має m вихідних лінійних фаз, то фільтр не компенсує лише гармоніки з порядковими номерами 1, $Nm+1$ та $Nm-1$, де N - довільне ціле число. При збільшенні кількості вихідних фаз m до 15 фільтр компенсує гармоніки до 25-ої включно. Але у трифазній мережі гармоніки, порядковий номер яких більший за 13, мають малі амплітуди, тому найбільше практичне значення мають фільтри з вихідною дев'ятифазною системою напруг.

При застосуванні даного фільтру можна зменшити його встановлену потужність у 1,61-1,96 разів порівняно до [10], а порівняно з прототипом даний фільтр дає можливість збільшити кількість гармонік, які можна компенсувати за допомогою фільтру (від кратних трьом до 13-25-ої).

Експериментальні випробування підтвердили характеристики фільтру, який заявляється.

Джерела інформації.

1. Добрусин Л. А., Павлович А. Г. Влияние конденсаторов в составе фильтро-компенсирующего устройства на несинусоидальность напряжения сети // Электричество. - 1975. - № 12. - С. 71-74.

2. Morari Gunter, Richter Walter, Fitscher Gerhard, Filteranordnung. Патент Австрії № 393765, МПК H03H 1/02, опубл. 10.12.1991.

3. Яценко А. А., Вахнина В. В. и др. Устройство для регулирования мощности трехфазных фильтров. А. с. СССР № 1381650, МПК H02S 3/18, опубл. Б. И. 1988, № 10.

4. Арефьев А. Н., Смирнов В. С. Электрический фильтр-компенсатор. А. с. СССР № 813586, опубл. 18.03.1981.

5. Kawahira H., Nakamura T., Nakasawa S., Nomura M. Active power filter // "Inter. Power Electron. Conf., Tokyo, 27-31 March, 1983, Vol. 2", 1983, С. 981-992.

6. Davis William F. High frequency line ripple cancellation circuit. Патент США № 4341990, МПК G05F 1/56, вид. 27.07.1982.

7. Levin M. I. Zero phase sequence current filter with adjustable impedance. Патент США № 5406437, МПК H02H 007/08, вид. 11.04.95.

8. Levin M. I. Combinet phase-shifting directional zero phase sequence current and method for using thereof. Патент США № 5416688, МПК H02J 001/02, вид. 16.05.1995.

9. Менке Д., Уолліс В., Франк Б., Джон Дж. Перетворювач розводки електропостачання для нелінійних навантажень. Патент США № 5416458, МПК H01F 033/00, вид. 16.05.1995.

10. Левін М. І. Фазозсуваючий перетворювач з низьким опором нульової послідовності. Патент США № 5801610, МПК H01F 033/00, вид. 1.08.1998.

11. Arrillaga J., Branley D., Bodger P. Power systems harmonics: John Wiley & Sons, Ltd, 1995.

12. Бамдас А. М., Кулинич В. А., Шапиро С. В. Статические электромагнитные преобразователи частоты и числа фаз. - М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961. - 208 с.

13. Куликовский А. А. Система городских распределительных сетей низкого напряжения с искусственными нейтральными точками // Электричество. - 1947. - № 9. - С. 45-54.

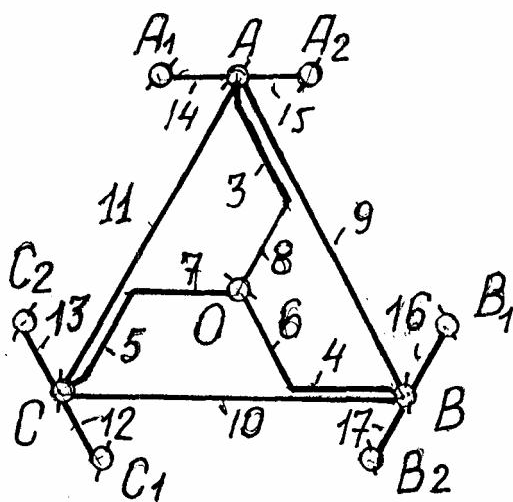


Fig. 1

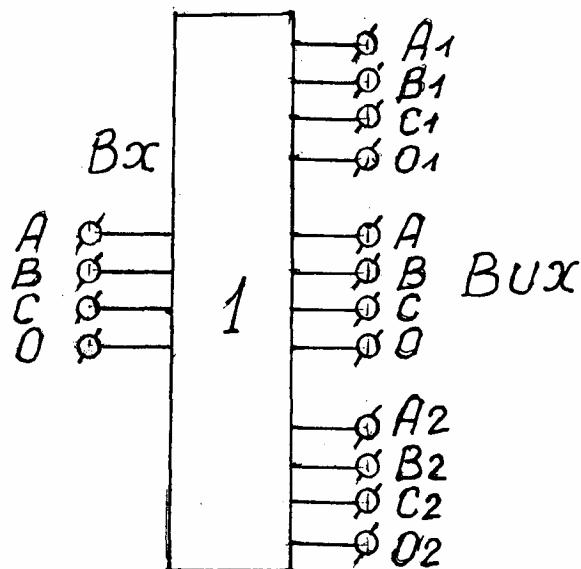
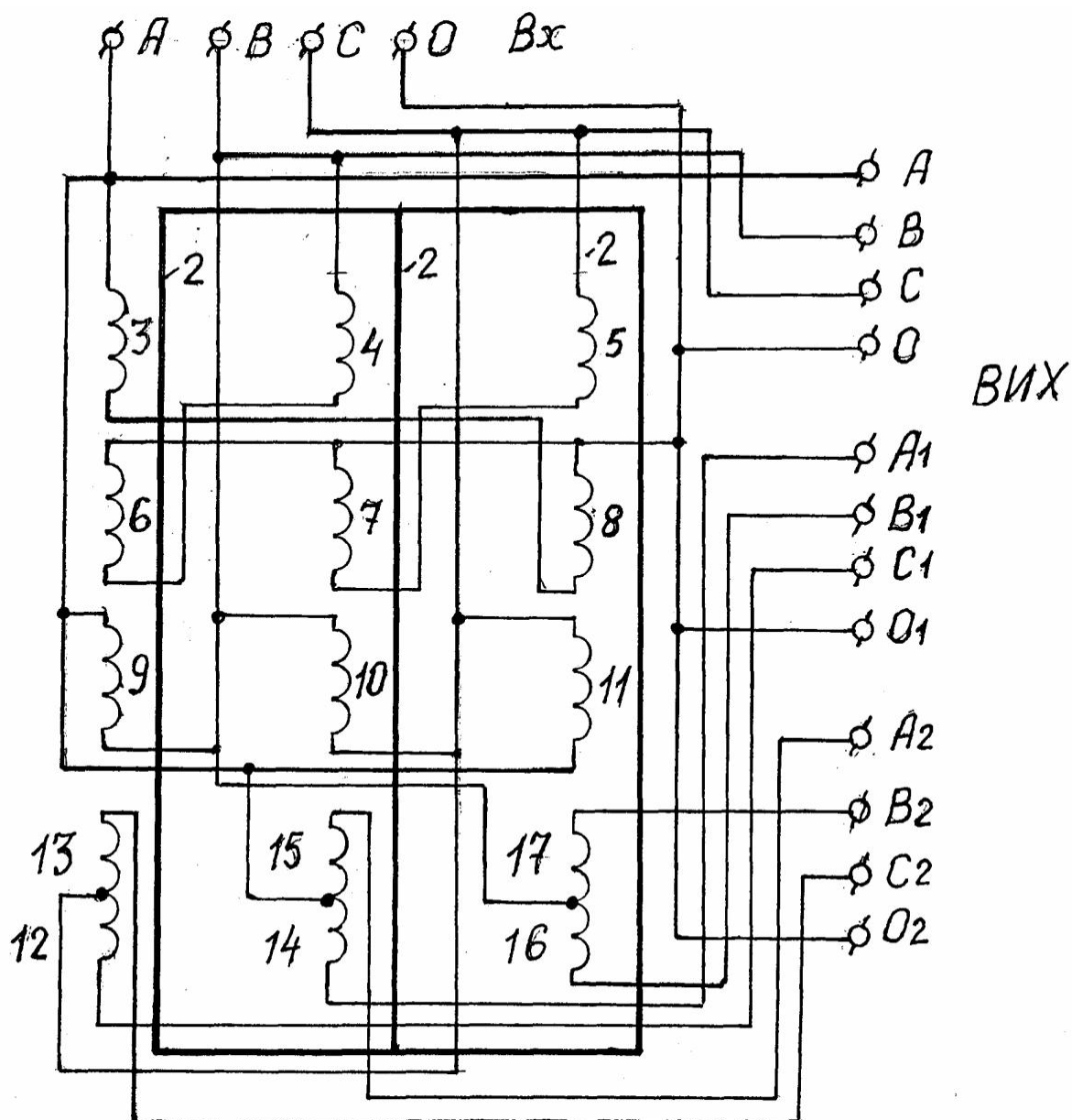


Fig. 2



Фіг. 3

ДП "Український інститут промислової власності" (Укрпатент)
 Україна, 01133, Київ-133, бульв. Лесі Українки, 26
 (044) 295-81-42, 295-61-97

Підписано до друку _____ 2001 р. Формат 60x84 1/8.
 Обсяг _____ обл.-вид. арк. Тираж 50 прим. Зам. _____

УкрІНТЕІ, 03680, Київ-39 МСП, вул. Горького, 180.
 (044) 268-25-22