



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115050** (13) **C2**  
(51) МПК (2017.01)

**G05F 1/14** (2006.01)

**H01H 9/00**

**H01F 29/04** (2006.01)

**H02P 13/06** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки: **а 2014 09805**

(22) Дата подання заявки: **15.01.2013**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на винахід: **11.09.2017**

(31) Номер попередньої  
заявки відповідно до  
Паризької конвенції: **102012101951.7**

(32) Дата подання  
попередньої заявки  
відповідно до  
Паризької конвенції: **08.03.2012**

(33) Код держави-учасниці **DE**  
Паризької конвенції,  
до якої подано  
попередню заявку:

(41) Публікація відомостей **10.11.2014, Бюл.№ 21**  
про заявку:

(46) Публікація відомостей **11.09.2017, Бюл.№ 17**  
про видачу патенту:

(86) Номер та дата **PCT/EP2013/050614,**  
подання міжнародної **15.01.2013**  
заявки, поданої  
відповідно до  
Договору РСТ

(72) Винахідник(и):

**Райх Александер (DE),  
Каррер Фолькер (DE)**

(73) Власник(и):

**МАШІНЕНФАБРИК РАЙНХАУЗЕН ГМБХ,**  
Falkensteinstraße 8, 93059 Regensburg, Germany  
(DE)

(74) Представник:

**Шамріна Олена Олексіївна, реєстр. №141**

(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:  
FAIZ J ET AL, "Optimal configurations for taps of  
windings and power electronic switches in electronic  
tap-changers", IEE PROCEEDINGS: GENERATION,  
TRANSMISSION AND DISTRIBUTION,  
INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, GB,  
(20020916), vol. 149, no. 5, doi:10.1049/IP-  
GTD:20020656, ISSN 1350-2360, pages 517 - 524,  
XP006018982 [A] 1-5 \* the whole document \*  
GB 2307567 A, 28.05.1997  
DE 2331388 A1, 20.02.1975  
WO 2011/033254 A2, 24.03.2011  
BAUER P ET AL, "ELECTRONIC TAP CHANGER  
FOR 10KV DISTRIBUTION TRANSFORMER", EPE  
'97. 7TH. EUROPEAN CONFERENCE ON POWER  
ELECTRONICS AND APPLICATIONS.  
TRONDHEIM, SEPT. 8 - 10, 1997; [EPE .  
EUROPEAN CONFERENCE ON POWER  
ELECTRONICS AND APPLICATIONS], BRUSSELS,  
EPE ASSOCIATION, B, (19970908), vol. 3, ISBN  
978-90-75815-02-3, pages 3.1010 - 3.1015,  
XP000768397 [A] 1-5 \* figure 3 \*  
WO 01/35432 A1, 17.05.2001  
DE 1800618 A1, 21.05.1970  
US 3502961 A, 24.03.1970  
GB 1216691 A, 23.12.1970  
OSMAN DEMIRCI ET AL, "A NEW APPROACH TO  
SOLID-STATE ON LOAD TAP CHANGING  
TRANSFORMERS", IEEE TRANSACTIONS ON  
POWER DELIVERY, IEEE SERVICE CENTER,  
NEW YORK, NY, US, (19980701), vol. 13, no. 3,  
doi:10.1109/61.686998, ISSN 0885-8977, pages 952  
- 961, XP011049528 [A] 1 \* the whole document \*  
US 4723187 A, 02.02.1988  
US 5990667 A, 23.11.1999  
WO 2007/135209 A1, 29.11.2007  
DE 19848428 A1, 04.05.2000

UA 115050 C2

## (54) СТУПЕНЕВИЙ ПЕРЕМИКАЧ

(57) Реферат:

Винахід стосується ступеневого перемикача для регулювання напруги за допомогою напівпровідникових перемикальних елементів на регульовальному трансформаторі, що містить регульовальну обмотку. Ступеневий перемикач має модульну конструкцію, причому кожен модуль містить секцію регульовальної обмотки, виконану з можливістю підключення або відключення за допомогою напівпровідникових перемикальних елементів. Додатково вбудовані варистори і конденсатори для захисту напівпровідникових перемикальних елементів від високої напруги.

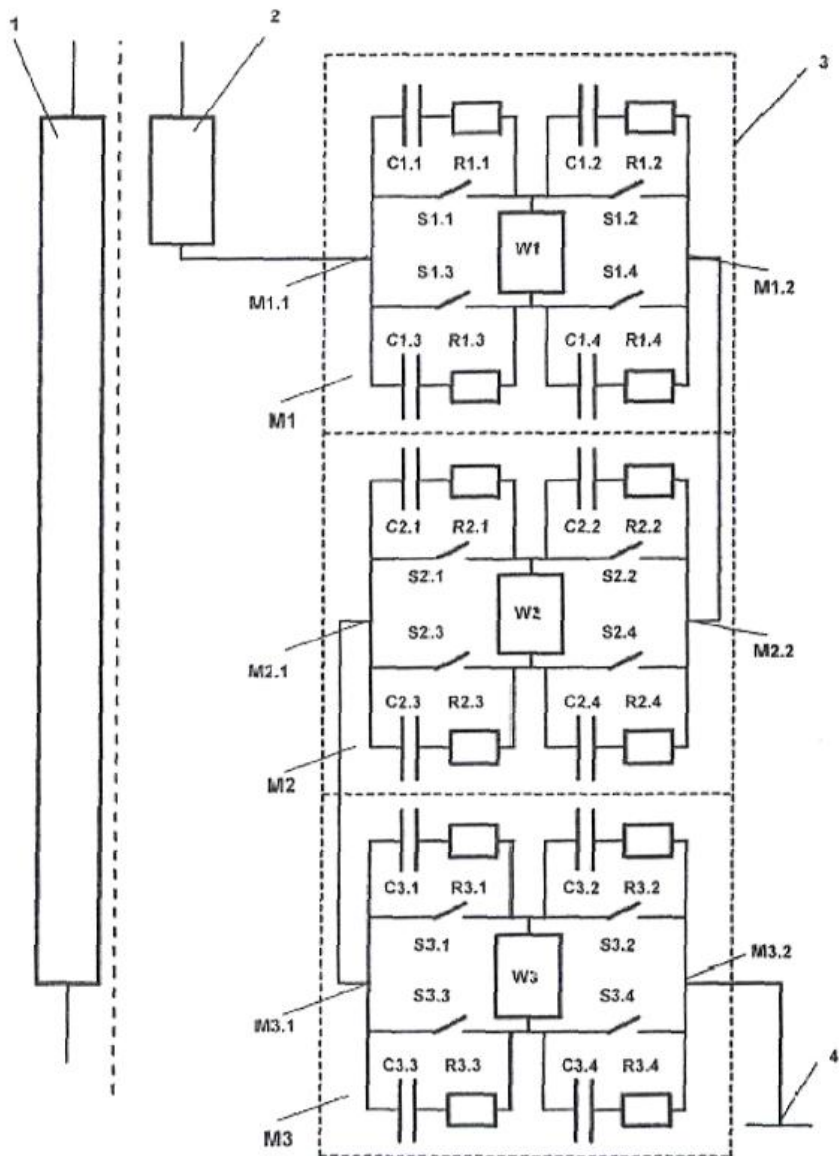


Fig. 1

Винахід стосується ступеневого перемикача для регулювання напруги за допомогою напівпровідникових перемикальних елементів. В публікації DE 22 48 166 A описаний регульований трансформатор із напівпровідниковими перемикальними елементами. При цьому вторинна обмотка виконана з певної кількості секцій регульовальної обмотки, які об'єднані в певну кількість послідовно підключених груп обмоток, причому кожна група обмоток містить дві або три паралельно включені секції регульовальної обмотки. При цьому кожна секція регульовальної обмотки оснащена безконтактним перемикальним елементом. У цій публікації описаний також інший варіант, в якому вторинна обмотка трансформатора виконана у вигляді групи послідовно включених секцій регульовальної обмотки, причому кожна секція регульовальної обмотки містить чотири безконтактних перемикальних елементи. Конструкція пристрою передбачає можливість зміни напрямку напруги на клеммах секції регульовальної обмотки на протилежний, а також, на вибір, можливість шунтування всієї секції регульовальної обмотки.

Із публікації DE 25 08 013 A відомий інший пристрій для ступеневого перемикання напруги вторинної обмотки трансформатора. У цьому пристрої вторинна обмотка також складається із згрупованих секцій, причому для перемикання також можуть бути передбачені напівпровідникові елементи.

У публікації DE 197 47 712 C2 описана конструкція ступеневого перемикача аналогічного виду на ступеновому трансформаторі, виконаному у вигляді автотрансформатора. При цьому також передбачені окремі секції обмотки, виконані з можливістю підключення поодиноці та незалежно одна від одної. Поряд зі стаціонарними відводами регульовальної обмотки в цій конструкції передбачена також можливість додаткового приєднання чи підключення окремих секцій обмотки.

Із публікації WO 95/27931 відомі різні форми виконання іншого ступеневого перемикача для безрозривного перемикання навантаження, причому тиристори також використовують як перемикальні елементи. При цьому за допомогою включених зустрічно-паралельно пар тиристорів забезпечується можливість підключення або відключення різних секцій секціонованої обмотки як частини вторинної обмотки відповідного ступеневого трансформатора. Для реалізації якнайбільшої кількості ступенів регулювання напруги при обмеженій кількості наявних відводів обмотки в цій публікації запропонований також спосіб цифрової кругової модуляції (англ. discrete circle modulation), в якому шляхом керування тиристорами одержують проміжні значення напруги вторинної обмотки трансформатора. Із публікації "A new approach to solid-state on load tap changing transformers" (Osman, Demirci; David, A., Torrey; Rober, C, Degeneff; IEEE Transactions on Power Delivery, том 13, дата публікації: 3 липня 1998 р.) відома модульна конструкція системи напівпровідникових перемикальних елементів. При цьому регульовальну обмотку підключають послідовно з кількома модулями. Кожен із модулів містить напівпровідникові перемикальні елементи, а також секції обмотки з різною кількістю витків. Шляхом цілеспрямованого приведення в дію напівпровідникових перемикальних елементів секції обмотки можна підключати до регульовальної обмотки або відключати від неї. Завдяки різній кількості витків можливим є навіть підключення секцій обмотки назустріч одна одній і в напрямку, протилежному напрямку основної обмотки. Ця публікація використана для обмежувальної частини першого пункту формули винаходу.

У рішеннях, які відомі з рівня техніки, напівпровідникові перемикальні елементи фактично виконують функцію механічної щітки селектора у класичних механічних ступених перемикачах. За допомогою напівпровідникових перемикальних елементів можна підключати або відключати окремі відводи регульовальних обмоток. Можливим є також розподіл регульовальної обмотки на секції, кожна з яких можна підключати окремо.

Ці ступеневі перемикачі мають відповідати вимогам різних стандартів IEC 60214-1 у поєднанні з IEC 60060. Зокрема, необхідно проводити випробування змінною напругою (випробування на витримувану напругу, що подається від окремого джерела постійного струму, англ. separate source AC withstand voltage test), а також випробування на стійкість проти імпульсної перенапруги при грозових розрядах у мережу (англ. lightning impulse voltage test). При випробуваннях змінною напругою протягом 60 секунд застосовують однофазову змінну напругу частотою 50 або 60 Гц. При цьому значення залежно від допустимої напруги для засобів виробництва можуть становити від 20 до 325 кВ. Випробування на стійкість проти імпульсної перенапруги при грозових розрядах у мережу має бути проведене у стандартній формі при 1,2/50 мкс. При цьому змінна напруга може зростати до 1,8 МВ. Оскільки ці змінні напруги діють безпосередньо на ступеневий перемикач, зокрема на напівпровідникові перемикальні елементи, які не можуть бути або лише за рахунок великих витрат можуть бути

розраховані на такі великі значення, існує ймовірність пошкодження напівпровідникових перемикальних елементів.

Згідно з цим задачею винаходу є розроблення ступеневого перемикача, що містить напівпровідникові перемикальні елементи, в якому напівпровідникові перемикальні елементи захищені від високої змінної напруги, визначеної за результатами випробувань згідно зі стандартами.

Цю задачу вирішено в ступеневому перемикачі ознаками першого пункту формули винаходу. Залежні пункти формули винаходу стосуються особливо переважних вдосконалених форм виконання винаходу.

Загальна винахідницька ідея полягає у підключенні паралельно кожному напівпровідниковому перемикальному елементу резистора, опір якого залежить від напруги, і конденсатора, послідовно включеного з цим резистором.

Далі винахід пояснюється докладніше на прикладі за допомогою креслення.

На кресленні зображений регульований трансформатор, що містить обмотку 1 нижчої напруги та регульовальну обмотку 2 (обмотку вищої напруги), в даному випадку утворену трьома окремими секціями W1, W2 і W3, до якої підключений відповідний винаходові ступеневий перемикач 3. При цьому пунктирною лінією окреслений ступеневий перемикач 3, який в даному випадку складається з трьох окремих модулів M1, M2, M3. Проте, кількість модулів може бути довільною. Перший модуль M1 містить першу секцію W1 обмотки, а також по обох сторонах від неї дві шунтувальних ланки, кожна з яких утворена двома послідовно підключеними напівпровідниковими перемикальними елементами, наприклад S1.1 і S1.2 та S1.3 і S1.4. Між кожними двома послідовно підключеними перемикальними елементами передбачений відповідний середній відвід M1.1 та M1.2. Паралельно кожному напівпровідниковому перемикальному елементу S1.1-S1.4 включений конденсатор C1.1-C1.4 із послідовно підключеним до нього резистором R1.1-R1.4, опір якого залежить від напруги. Окремі напівпровідникові перемикальні елементи зображені на схемі лише схематично у вигляді простих перемикачів. На практиці вони містять паралельно включені тиристори, біполярні транзистори з ізольованим затвором (IGBT) або інші напівпровідникові перемикальні елементи. Вони можуть також містити кілька подібних послідовно або паралельно підключених окремих напівпровідникових перемикальних елементів. Резисторами, опір яких залежить від напруги, є так звані варистори або обмежувальні діоди (супресори).

Середній відвід M1.1 першого модуля M1 електрично з'єднаний з кінцем обмотки 2 вищої напруги. Модулі M1 та M2 електрично з'єднані середніми відводами M1.2 та M2.2. Цей другий модуль M2 має ідентичну конструкцію; він також містить секцію W2 обмотки, обидві ланки, кожна з яких утворена двома послідовно включеними напівпровідниковими перемикальними елементами S2.1 і S2.2 та S2.3 і S2.4, а також паралельно підключеними до них ланками, утвореними конденсаторами C2.1-C2.4 і послідовно включеними із ними резисторами R2.1-R2.4. Між відповідними ланками послідовно підключених компонентів також передбачені середні відводи M2.1 та M2.2. З'єднання середнього відводу M2.2 із першим модулем M1 описано вище; другий середній відвід M2.1 в свою чергу з'єднаний із середнім відводом M3.1 третього аналогічного модуля M3. Цей модуль також містить напівпровідникові перемикальні елементи S3.1-S3.4 із передбаченими між ними середніми відводами M3.1 та M3.2, а також конденсатори C3.1-C3.4, резистори R3.1-R3.4 і секцію W3 обмотки. Третій модуль з'єднаний середнім відводом M3.2 із силовим відводом (нульовою точкою) 4.

Три описаних модулі M1, M2, M3 можуть відрізнятися параметрами відповідних секцій W1, W2, W3 обмотки.

Шляхом цілеспрямованого приведення в дію напівпровідникових перемикальних елементів Sn.1-Sn.4 окремих модулів M1-M3 можна підключати чи відключати окремі секції W1-W3 обмотки. Якщо секції обмотки мають різні параметри, можливим є навіть їх зустрічне включення.

При проведенні випробувань згідно зі стандартами Міжнародної електротехнічної комісії (IEC) до напівпровідникових перемикальних елементів Sn.n прикладають надмірну напругу. Для захисту напівпровідникових перемикальних елементів Sn.n при випробуваннях на стійкість проти імпульсної перенапруги при грозових розрядах у мережу та при випробуваннях змінною напругою паралельно до них підключають резистор Rn.n, опір якого залежить від напруги (наприклад варистор або газонаповнений грозозахисний розрядник тощо).

Параметри резистора Rn.n, опір якого залежить від напруги, розраховують таким чином, щоб при випробуваннях змінною напругою він взагалі не пропускав електричний струм, або, в іншій формі виконання винаходу, пропускав настільки малий електричний струм, щоб потужність втрат протягом зазначеного періоду часу не призводила до руйнування

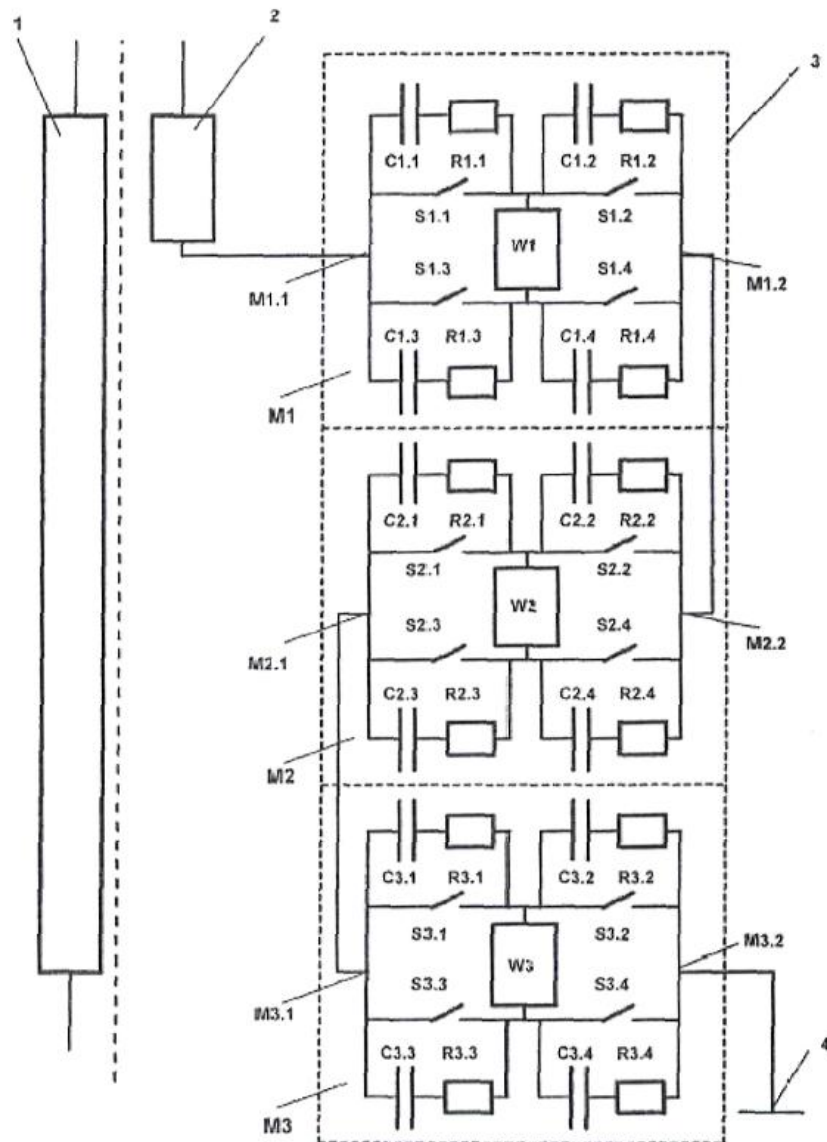
конструктивних елементів. У рамках випробувань на стійкість проти імпульсної перенапруги при грозових розрядах у мережу резистор  $R_{n.n}$ , опір якого залежить від напруги, пропускає електричний струм і обмежує напругу, прикладену до напівпровідникового перемикального елемента  $S_{n.n}$ . Із цієї причини параметри напівпровідникового перемикального елемента  $S_{n.n}$  мають бути розраховані таким чином, щоб він витримував цю прикладену напругу без руйнування.

Оскільки зростання імпульсу напруги при випробуваннях на стійкість проти імпульсної перенапруги при грозових розрядах у мережу відбувається у кілька разів швидше порівняно з випробуванням змінною напругою, спектр цього імпульсу містить також високочастотні компоненти (понад 60 Гц) на відміну від спектра імпульсу при випробуваннях змінною напругою (макс. 60 Гц). Із цієї причини передбачене ємнісне під'єднання резистора  $R_{n.n}$ . При цьому послідовно з ним включають конденсатор  $C_{n.n}$ . Шляхом такого під'єднання одержують фільтр верхніх частот. У процесі випробувань змінною напругою резистор  $R_{n.n}$ , опір якого залежить від напруги, захищений від навантаження. Особливо переважним у такій схемі є те, що резистори  $R_{n.n}$ , опір яких залежить від напруги (варистори), із підключеними до них конденсаторами  $C_{n.n}$  тепер необхідно узгоджувати виключно з вимогами випробувань на стійкість проти імпульсної перенапруги при грозових розрядах у мережу. Ці вимоги є значно нижчими порівняно з вимогами при проведенні випробувань змінною напругою, оскільки енергія імпульсів є меншою, завдяки чому зменшуються витрати і потреба у конструктивному просторі. Іншим позитивним ефектом є те, що габарити напівпровідникових перемикальних елементів також можуть бути меншими. Це також дозволяє заощаджувати кошти.

#### ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Ступеневий перемикач для регулювання напруги за допомогою напівпровідникових перемикальних елементів у регульовальному трансформаторі, що містить регульовальну обмотку, причому ступеневий перемикач (3) містить принаймні один модуль ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ), причому кожен модуль ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) містить секцію ( $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ ) регульовальної обмотки, а також по обох сторонах від неї дві шунтувальні ланки, причому кожна шунтувальна ланка містить два послідовно включених напівпровідникових перемикальних елементи ( $S_{1.1}$ ,  $S_{1.2}$ ,  $S_{1.3}$ ,  $S_{1.4}$ ,  $S_{2.1}$ ,  $S_{2.2}$ ,  $S_{2.3}$ ,  $S_{2.4}$ ,  $S_{3.1}$ ,  $S_{3.2}$ ,  $S_{3.3}$ ,  $S_{3.4}$ ,  $S_{4.1}$ ,  $S_{4.2}$ ,  $S_{4.3}$ ,  $S_{4.4}$ ), причому між кожними двома послідовно включеними перемикальними елементами ( $S_{1.1}$ ,  $S_{1.2}$ ,  $S_{1.3}$ ,  $S_{1.4}$ ,  $S_{2.1}$ ,  $S_{2.2}$ ,  $S_{2.3}$ ,  $S_{2.4}$ ,  $S_{3.1}$ ,  $S_{3.2}$ ,  $S_{3.3}$ ,  $S_{3.4}$ ,  $S_{4.1}$ ,  $S_{4.2}$ ,  $S_{4.3}$ ,  $S_{4.4}$ ) кожної шунтувальної ланки передбачений середній відвід ( $M_{1.1}$ ,  $M_{1.2}$ ,  $M_{2.1}$ ,  $M_{2.2}$ ,  $M_{3.1}$ ,  $M_{3.2}$ ), причому кожен із двох середніх відводів ( $M_{1.2}$ ,  $M_{2.1}$ ,  $M_{2.2}$ ,  $M_{3.1}$ ) кожного модуля ( $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ ) з'єднаний із середніми відводами сусідніх модулів, і причому перемикач виконаний з можливістю з'єднання не підключеного середнього відводу ( $M_{3.2}$ ) третього модуля ( $M_3$ ) із силовим відводом (4), а іншого не підключеного середнього відводу ( $M_{1.1}$ ) першого модуля ( $M_1$ ) з регульовальною обмоткою (2) регульовального трансформатора, який **відрізняється** тим, що паралельно кожному напівпровідниковому перемикальному елементу ( $S_{1.1}$ ,  $S_{1.2}$ ,  $S_{1.3}$ ,  $S_{1.4}$ ,  $S_{2.1}$ ,  $S_{2.2}$ ,  $S_{2.3}$ ,  $S_{2.4}$ ,  $S_{3.1}$ ,  $S_{3.2}$ ,  $S_{3.3}$ ,  $S_{3.4}$ ,  $S_{4.1}$ ,  $S_{4.2}$ ,  $S_{4.3}$ ,  $S_{4.4}$ ) послідовно з кожним конденсатором ( $C_{1.1}$ ,  $C_{1.2}$ ,  $C_{1.3}$ ,  $C_{1.4}$ ,  $C_{2.1}$ ,  $C_{2.2}$ ,  $C_{2.3}$ ,  $C_{2.4}$ ,  $C_{3.1}$ ,  $C_{3.2}$ ,  $C_{3.3}$ ,  $C_{3.4}$ ,  $C_{4.1}$ ,  $C_{4.2}$ ,  $C_{4.3}$ ,  $C_{4.4}$ ) включений відповідний резистор ( $R_{1.1}$ ,  $R_{1.2}$ ,  $R_{1.3}$ ,  $R_{1.4}$ ,  $R_{2.1}$ ,  $R_{2.2}$ ,  $R_{2.3}$ ,  $R_{2.4}$ ,  $R_{3.1}$ ,  $R_{3.2}$ ,  $R_{3.3}$ ,  $R_{3.4}$ ,  $R_{4.1}$ ,  $R_{4.2}$ ,  $R_{4.3}$ ,  $R_{4.4}$ ), опір якого залежить від напруги.
2. Ступеневий перемикач за п. 1, який **відрізняється** тим, що ступеневий перемикач (3) містить тільки три модулі  $M_1$ ,  $M_2$  і  $M_3$ .
3. Ступеневий перемикач за п. 2, який **відрізняється** тим, що співвідношення між кількістю витків секцій  $W_1$ - $W_3$  обмоток трьох модулів ( $M_1$ ... $M_3$ ) становить 1:3:6 або 1:3:9.
4. Ступеневий перемикач за будь-яким із пп. 1-3, який **відрізняється** тим, що кожен із напівпровідникових перемикальних елементів ( $S_{1.1}$ ,  $S_{1.2}$ ,  $S_{1.3}$ ,  $S_{1.4}$ ,  $S_{2.1}$ ,  $S_{2.2}$ ,  $S_{2.3}$ ,  $S_{2.4}$ ,  $S_{3.1}$ ,  $S_{3.2}$ ,  $S_{3.3}$ ,  $S_{3.4}$ ,  $S_{4.1}$ ,  $S_{4.2}$ ,  $S_{4.3}$ ,  $S_{4.4}$ ) містить пару включених зустрічно-паралельно тиристорів чи пару зустрічно включених біполярних транзисторів із ізольованим затвором (IGBT).
5. Ступеневий перемикач за будь-яким із пп. 1-4, який **відрізняється** тим, що принаймні один напівпровідниковий перемикальний елемент ( $S_{n1}$ - $S_{n4}$ ) містить схему, утворену принаймні

двома окремими послідовно або паралельно включеними напівпровідниковими перемикальними елементами (Sn1-Sn4).



Фіг. 1