



УКРАЇНА

(19) UA (11) 85731 (13) C2  
(51) МПК (2009)  
H02M 5/02

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) РЕГУЛЯТОР НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

1

2

(21) а200701406

(22) 10.02.2007

(24) 25.02.2009

(46) 25.02.2009, Бюл.№ 4, 2009 р.

(72) БОГАЧЕВ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ, UA,  
КАПУГІН ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA, КОС-  
ТЕНКО КОСТЯНТИН ФЕДОРОВИЧ, UA, МИЦКЕ-  
ВИЧ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ, UA

(73) БОГАЧЕВ ОЛЕКСАНДР МИКОЛАЙОВИЧ, UA,  
КАПУГІН ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, UA, КОС-  
ТЕНКО КОСТЯНТИН ФЕДОРОВИЧ, UA, МИЦКЕ-  
ВИЧ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ, UA

(56) RU 2188496 C1, 27.08.2002

US 4853608, 01.08.1989

(57) Регулятор напруги змінного струму, який містить вхідний фільтр низької частоти, послідовний ключ, паралельний ключ, дросель, вихідний фільтр низької частоти, вихідне реле, який **відрізняється** тим, що додатково містить вхідне реле і паралельне реле, при цьому вихід вхідного фільтра низької частоти з'єднаний із другим входом паралельного реле і другим входом вхідного реле, третій вхід якого з'єднаний із входом дроселя, а перший вхід з'єднаний із входом вихідного фільт-

ра низької частоти і першим входом вихідного реле, другий вхід якого з'єднаний із загальним ланцюгом, а третій вхід з'єднаний з виходом послідовного ключа, вхід якого з'єднаний з виходом дроселя і входом паралельного ключа, вихід якого з'єднаний із третім входом паралельного реле, перший вхід якого з'єднаний із загальним ланцюгом, крім того, вхідне реле виконане з можливістю комутації його третього входу з його першим входом або другим входом, при цьому паралельне реле виконане з можливістю комутації його третього входу із першим входом при комутації другого і третього входів вхідного реле та з можливістю комутації третього входу із другим входом при комутації першого і третього входів вхідного реле, а вихідне реле виконане з можливістю комутації його третього входу із першим входом при комутації другого і третього входів вхідного реле та з можливістю комутації третього входу із другим входом при комутації першого і третього входів вхідного реле, причому послідовний ключ виконаний з можливістю замикання при розімкненому паралельному ключі та з можливістю розмикання при замкненому паралельному ключі.

Винахід відноситься до галузі електроніки та автоматики, а саме, до пристроїв перетворення енергії змінного струму на вході в енергію змінного струму на виході для зміни напруги без проміжного перетворення у постійний струм за допомогою статичних перетворювачів, виконаних на напівпровідникових елементах з управляючим електродом та з елементами, що призначені для замикання і розмикання контактів.

Регулювання величини напруги змінного струму використовується у електроживленні, системах автоматики, електроприводах змінного струму і багатьох інших електронних пристроях. Для цього часто застосовують магнітні підсилювачі, багатообмотувальні трансформатори з тиристорною комутацією обмоток, різноманітні тиристорні схеми, що змінюють діюче значення напруги за рахунок зміни форми синусоїди. Зазначені пристрої як правило мають відносно велику вагу і габарити, не

забезпечують необхідні межі регулювання напруги або перевертають форму синусоїдальної напруги.

При цьому, важливим параметром, що визначає економічність пристроїв регулювання напруги змінного струму, є наявність рекуперації енергії при реактивному характері навантаження. Рекуперація енергії можлива при наявності гальванічного зв'язку між джерелом і споживачем електричної енергії. Однак, усі трансформаторні схеми пристроїв регулювання напруги змінного струму не забезпечують рекуперації.

Для регулювання величини напруги змінного струму на навантаженні також застосовують автотрансформаторні пристрої, що керуються двигуном. Автотрансформаторні пристрої забезпечують рекуперацію енергії при комплексному характері навантаження, однак і ці пристрої мають порівняно велику вагу і габарити, є коштовними та мають низьку швидкодію.

(13) C2

(11) 85731

(19) UA

Відомий пристрій, передбачений реалізацією способу регулювання напруги змінного струму, наданого в [описі винаходу до патенту Російської Федерації №2266608 МПК H02M03/22, H02M07/527, G05F01/56; опубл. 20.12.2005 у бюл. №35].

Схема цього пристрою регулювання напруги змінного струму містить інвертор, високочастотний трансформатор, синхронний випрямляч і фільтр. Робота такого пристрою основана на перетворенні напруги змінного струму за допомогою інвертора у послідовність біполярних імпульсів значно більш високої частоти, відносна тривалість яких визначає величину регульованої напруги, і на подачі їх через високочастотний трансформатор, що встановлює межі регулювання, на синхронний випрямляч, зміна фази роботи ключів якого змінює фазу регульованої напруги вихідної частоти, що отримують на виході фільтра, що згладжує завади, на протилежну.

Описаний пристрій також має відносно велику вагу і габарити, що обумовлені наявністю трансформатора, та є відносно дорогим і недостатньо надійним, що обумовлено наявністю шістьох напівпровідникових ключів. Крім того, наявність трансформатора не забезпечує можливості рекуперації, що значно знижує ефективність виробу.

Відомий безтрансформаторний електронний пристрій підвищення напруги змінного струму на навантаженні [А. Коршунов, "Импульсные преобразователи напряжения переменного тока", "Силовая Электроника", №1, 2006р. стор.54-61], що складається з вхідного фільтра низької частоти, дроселю, паралельного ключа, послідовного ключа та вихідного фільтра низької частоти.

У цьому пристрої вхідна напруга змінного струму подається на вхідний фільтр низької частоти, вихід якого з'єднаний із входом дроселя. Вихід дроселя з'єднаний із входами паралельного і послідовного ключів. Вихід послідовного ключа з'єднаний із входом вихідного фільтра низької частоти, а вихід паралельного ключа з'єднаний із загальним проводом пристрою. Навантаження підключається до виходу вихідного фільтра низької частоти.

Регулювання вихідної напруги у цьому пристрої здійснюється шляхом зміни відносної тривалості перебування паралельного ключа у замкненому положенні, яка визначається виразом:

$$\gamma = \tau / T = \tau \times f,$$

$$0 < \gamma < 1;$$

де:  $\tau$  - час знаходження паралельного ключа у замкненому положенні протягом періоду  $T=1/f$  перетворення імпульсів вхідної напруги змінного струму у імпульсну напругу;

$f$  - частота переключення паралельного ключа.

Середнє значення вихідної напруги  $U_{вих}$  може визначатися виразом:

$$U_{вих} = \gamma \times U_{вх};$$

де:  $U_{вх}$  - величина вхідної напруги змінного струму.

Рекуперація у описаному пристрої забезпечується співвідношенням часів станів увімкнено і

вимкнено паралельного (тривалістю  $\tau$ ) і послідовного (тривалістю  $T - \tau$ ) ключів або, іншими словами, протифазним управлінням ключами.

Природно, що значним недоліком описаного пристрою є відсутність можливості пониження вихідної напруги змінного струму.

Те ж джерело містить опис безтрансформаторного електронного пристрою пониження напруги змінного струму на навантаженні, що також складається з вхідного фільтра низької частоти, дроселя, паралельного ключа, послідовного ключа і вихідного фільтра низької частоти, але має інші зв'язки зазначених елементів.

У цьому пристрої вхідна напруга змінного струму надходить на вхідний фільтр низької частоти, вихід якого з'єднаний із входом послідовного ключа. З виходом послідовного ключа з'єднані вхід дроселя і вхід паралельного ключа. Вихід паралельного ключа з'єднаний із загальним проводом пристрою, а вихід дроселя з'єднаний з фільтром низької частоти. Навантаження підключається до виходу вихідного фільтра низької частоти.

Регулювання вихідної напруги у вказаному пристрої, як і у попередньому випадку, здійснюється шляхом зміни відносної тривалості перебування паралельного ключа у замкненому положенні, яка визначається виразом:

$$\gamma = \tau / T = \tau \times f,$$

$$0 < \gamma < 1;$$

де:  $\tau$  - час знаходження паралельного ключа у замкненому положенні протягом періоду  $T=1/f$  перетворення імпульсів вхідної напруги змінного струму у імпульсну напругу;

$f$  - частота переключення паралельного ключа.

При цьому, середнє значення вихідної напруги  $U_{вих}$  може визначатися виразом:

$$U_{вих} = \gamma \times U_{вх} / (1 - \gamma);$$

де:  $U_{вх}$  - величина вхідної напруги змінного струму.

Очевидним недоліком останнього описаного пристрою є відсутність можливості підвищення вихідної напруги змінного струму.

Питання рекуперації реактивної енергії в обох описаних безтрансформаторних пристроях регулювання напруги змінного струму при нелінійному навантаженні вирішується схемотехнічно, завдяки двоспрямованості схеми. Двоспрямованість здійснюється застосуванням чотирьох квадратних ключів змінного струму (наприклад - діодний міст, у діагональ якого включений силовий транзистор (IGBT), для якого вхід і вихід носить лише умовний характер). Якщо навантаження має реактивний характер, то з урахуванням зсуву фази між током навантаження і напругою виникає оборотний реактивний струм, який тече зворотно у мережу, у цьому випадку паралельний ключ працює як модулятор, а послідовний ключ - як синхронний випрямляч.

Паралельне включення входів двох вищепоказаних пристроїв регулювання напруги змінного струму дає можливість регулювати вихідну напругу змінного струму у бік підвищення, шляхом підключення навантаження до підвищувальної схеми,

та у бік пониження напруги змінного струму на навантаження, шляхом підключення навантаження до понижуючої схеми, через вихідне реле.

Такий відомий безтрансформаторний регулятор напруги змінного струму, у порівнянні з описаними вище пристроями, дозволяє здійснити як підвищення, так і пониження напруги на навантаженні, забезпечує рекуперацію, має поліпшені масо-габаритні характеристики, є найбільш близьким за технічною сутністю до регулятора напруги змінного струму, що заявляється, та обраний як найбільш близький аналог. У той же час, цей пристрій має ряд недоліків.

Так, застосування чотирьох напівпровідникових ключів і двох дроселів не забезпечує достатнього зменшення ваги, габаритів і вартості виробу, знижує його надійність.

Враховуючи вищевикладене, ознаками найбільш близького аналога, що збігаються із суттєвими ознаками запропонованого винаходу, є наявність вхідного фільтра низької частоти, послідовного ключа, паралельного ключа, дроселя, вихідного фільтра низької частоти і вихідного реле.

В основу винаходу поставлена задача зменшення ваги і габаритів регулятора напруги змінного струму з одночасним усуненням інших вказаних недоліків, властивих найбільш близькому аналогу.

Поставлена задача вирішена за рахунок того, що в регулятор напруги змінного струму, який містить вхідний фільтр низької частоти, послідовний ключ, паралельний ключ, дросель, вихідний фільтр низької частоти, вихідне реле, у відповідності з винаходом, додатково включені вхідне реле і паралельне реле, при цьому вхід вхідного фільтра низької частоти з'єднаний зі входом 2 паралельного реле і входом 2 вхідного реле, вхід 3 якого з'єднаний із входом дроселя, а вхід 1 з'єднаний із входом вихідного фільтра низької частоти і входом 1 вихідного реле, вхід 2 якого з'єднаний із загальним ланцюгом, а вхід 3 з'єднаний з виходом послідовного ключа, вхід якого з'єднаний з виходом дроселя і входом паралельного ключа, вихід якого з'єднаний із входом 3 паралельного реле, вхід 1 якого з'єднаний із загальним ланцюгом, крім того, вхідне реле виконане з можливістю комутації його входу 3 з його входом 1 або входом 2, при цьому, паралельне реле виконане з можливістю комутації його входу 3 із входом 1 при комутації входів 1 і 3 вхідного реле та з можливістю комутації входу 3 із входом 2 при комутації входів 2 і 3 вхідного реле, а вихідне реле виконане з можливістю комутації його входу 3 із входом 1 при комутації входів 1 і 3 вхідного реле та з можливістю комутації входу 3 із входом 2 при комутації входів 2 і 3 вхідного реле, причому, послідовний ключ виконаний з можливістю замикання при розімкненому паралельному ключі та з можливістю розмикання при замкненому паралельному ключі.

Саме ці ознаки необхідні і достатні для рішення поставленої задачі.

Як можна побачити, схема заявленого пристрою містить мінімальну кількість елементів, що мають мінімальні габарити, вагу і вартість, а саме, два фільтра низької частоти, один дросель, два

напівпровідникові ключі і три реле, зв'язки яких також забезпечують мінімальні габарити, вагу та вартість при достатній надійності виробу в цілому.

Так, введення у схему пристрою вхідного і паралельного реле, з урахуванням наявності вихідного реле, дозволяє перетворювати загальну схему у схему підвищення напруги та у схему пониження напруги, завдяки чому ті самі елементи беруть участь в роботі як режиму підвищення, так і режиму пониження напруги змінного струму, що забезпечує мінімальну кількість елементів всього пристрою і дозволяє зменшити габарити, вагу та вартість виробу.

З'єднання виходу вхідного фільтра низької частоти із входом 2 паралельного реле і входом 2 вхідного реле, вхід 3 якого з'єднаний із входом дроселя, а вхід 1 з'єднаний із входом вихідного фільтра низької частоти і входом 1 вихідного реле, вхід 2 якого з'єднаний із загальним ланцюгом, а вхід 3 з'єднаний з виходом послідовного ключа, вхід якого з'єднаний з виходом дроселя і входом паралельного ключа, вихід якого з'єднаний із входом 3 паралельного реле, вхід 1 якого з'єднаний із загальним ланцюгом, дозволяє забезпечити мінімальну кількість напівпровідникових ключів, фільтрів низької частоти і дроселів при забезпеченні можливості перетворення загальної схеми пристрою у схему підвищення напруги та у схему пониження напруги, а також при роботі тих самих елементів як у режимі підвищення, так і у режимі пониження напруги змінного струму, що забезпечує мінімальну кількість елементів усього пристрою та дозволяє зменшити габарити, вагу та вартість виробу.

Виконання вхідного реле з можливістю комутації його входу 3 з його входом 1 або входом 2, а паралельного реле з можливістю комутації його входу 3 із входом 1 при комутації входів 1 і 3 вхідного реле та з можливістю комутації входу 3 із входом 2 при комутації входів 2 і 3 вхідного реле, а також виконання вихідного реле з можливістю комутації його входу 3 із входом 1 при комутації входів 1 і 3 вхідного реле та з можливістю комутації входу 3 із входом 2 при комутації входів 2 і 3 вхідного реле, при виконанні послідовного ключа з можливістю замикання при розімкненому паралельному ключі та з можливістю розімкнення при замкненому паралельному ключі, дозволяє забезпечити можливість роботи та переключення режимів підвищення і пониження напруги змінного струму з урахуванням мінімальної кількості напівпровідникових ключів, фільтрів низької частоти і дроселів, що також забезпечує мінімальну кількість елементів усього пристрою та дозволяє зменшити габарити, вагу і вартість виробу.

Таким чином, сукупність усіх наведених вище ознак сприяє отриманню одного спільного заявленого технічного результату.

Суть винаходу пояснюється кресленнями, де зображено на: Фіг.1 - схема регулятора напруги змінного струму електрична функціональна; Фіг.2 - схема стабілізатора напруги змінного струму електрична функціональна.

Регулятор напруги змінного струму, схема електрична функціональна якого представлена на

Фіг.1, складається з вхідного фільтра низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вх}}$ , вихідного фільтра низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вих}}$ , послідовного ключа В, паралельного ключа М, дроселя Др, вхідного реле  $P_1$ , паралельного реле  $P_2$  та вихідного реле  $P_3$ .

Вихід вхідного фільтра низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вх}}$  з'єднаний із входом 2 паралельного реле  $P_2$  і входом 2 вхідного реле  $P_1$ . Вхід 3 вхідного реле  $P_1$  з'єднаний із входом дроселя Др, а вхід 1 першого з'єднаний із входом вихідного фільтра низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вих}}$  і входом 1 вихідного реле  $P_3$ . Вхід 2 вихідного реле  $P_3$  з'єднаний із загальним ланцюгом а вхід 3 з'єднаний з виходом послідовного ключа В. Вхід послідовного ключа В з'єднаний із виходом дроселя Др і входом паралельного ключа М, вихід якого з'єднаний із входом 3 паралельного реле  $P_2$ , а вхід 1 паралельного реле  $P_2$  з'єднаний із загальним ланцюгом.

Вхідне реле  $P_1$  виконане з можливістю комутації його входу 3 з його входом 1 або входом 2. Паралельне реле  $P_2$  виконане з можливістю комутації його входу 3 із входом 1 при комутації входів 1 і 3 вхідного реле  $P_1$  та з можливістю комутації входу 3 із входом 2 при комутації входів 2 і 3 вхідного реле  $P_1$ . Вихідне реле  $P_3$  виконане з можливістю комутації його входу 3 із входом 1 при комутації входів 1 і 3 вхідного реле  $P_1$  та з можливістю комутації входу 3 із входом 2 при комутації входів 2 і 3 вхідного реле  $P_1$ .

Послідовний ключ В виконаний з можливістю замикання при розімкненому паралельному ключі М та з можливістю розімкнення при замкненому паралельному ключі М.

Робота регулятора напруги змінного струму здійснюється наступним чином.

Вхідний фільтр низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вх}}$  підключається до джерела напруги змінного струму, а до виходу вихідного фільтра низької частоти

$\text{ФНЧ}_{\text{вих}}$  підключається навантаження. Вхідна напруга змінного струму за допомогою паралельного ключа М перетворюється у послідовність широтно – імпульсно – модульованих біполярних імпульсів. При цьому, тривалість широтно – імпульсно – модульованих біполярних імпульсів визначає величину напруги на навантаженні. У дроселі Др накопичується енергія заряду. За допомогою послідовного ключа В здійснюється синхронне випрямлення струму розряду енергії, накопиченої у дроселі Др. При цьому, паралельний ключ М і послідовний ключ В працюють у протифазі. Вхідний фільтр низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вх}}$  та вихідний фільтр низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вих}}$  забезпечують фільтрування височастотних складових промодульованої напруги у ланцюгу джерела вхідної напруги та у навантаженні.

Робота ключів М і В у протифазі, забезпечує рекуперацію реактивної енергії при нелінійному навантаженні. Якщо навантаження має реактивний характер то, з урахуванням зсуву фази між струмом навантаження і напругою, виникає зворотній реактивний струм, що прямує зворотно у мережу. У цьому випадку паралельний ключ М працює як модулятор, а послідовний ключ В працює як синхронний випрямляч.

Режим підвищення напруги змінного струму забезпечується комутацією входу 3 і входу 2 вхідного реле  $P_1$  та комутацією входів 3 із входами 1 паралельного реле  $P_2$  і вихідного реле  $P_3$ . При цьому, на паралельний ключ М і послідовний ключ В подаються протифазні керуючі широтно – імпульсно – модульовані імпульси.

Режим пониження напруги змінного струму забезпечується комутацією входів 3 із входами 2 паралельного реле  $P_2$  і вихідного реле  $P_3$  та комутацією входу 3 і входу 1 вхідного реле  $P_1$ .

Одним з можливих варіантів реалізації описаної схеми регулятора напруги змінного струму є однофазний стабілізатор напруги змінного струму, електрична функціональна схема якого представлена на Фіг.2, призначений для забезпечення електроживленням різноманітних споживачів в умовах великих за значенням і тривалості відхилень напруги у мережі 220В частотою 50Гц з діапазоном робочих вхідних напруг від 120 до 380В, що забезпечує коефіцієнт корисної дії не менше 93% при вхідній напрузі в межах від 160 до 240В.

Стабілізатор напруги змінного струму (Фіг.2) складається з вище перерахованих елементів з такими ж зв'язками і включає схему управління СУ, що підключена до керуючих входів ключів і реле.

Вхідний фільтр низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вх}}$  підключається до джерела напруги змінного струму, а до виходу вихідного фільтра низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вих}}$  підключається навантаження, наприклад, електродвигун. Вхідне напруження змінного струму за допомогою паралельного ключа М перетворюється у послідовність широтно – імпульсно – модульованих біполярних імпульсів. При цьому, тривалість широтно – імпульсно – модульованих біполярних імпульсів визначає величину напруги на навантаженні. У дроселі Др накопичується енергія заряду. За допомогою послідовного ключа В здійснюється синхронне випрямлення струму розряду енергії, накопиченої у дроселі Др. При цьому, паралельний ключ М і послідовний ключ В працюють у протифазі. Схема управління СУ забезпечує протифазне переключення ключів М і В з частотою, значно більшою частоти вхідної напруги змінного струму. Вхідний фільтр низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вх}}$  та вихідний фільтр низької частоти  $\text{ФНЧ}_{\text{вих}}$  забезпечують фільтрування височастотних складових промодульованої напруги у ланцюгу джерела вхідної напруги та у навантаженні. Робота ключів М і В у протифазі, забезпечує рекуперацію реактивної енергії при нелінійному навантаженні. Якщо навантаження має реактивний характер то, з урахуванням зсуву фази між струмом навантаження і напругою, виникає зворотній реактивний струм, що прямує зворотно у мережу. У цьому випадку паралельний ключ М працює як модулятор, а послідовний ключ В працює як синхронний випрямляч.

При зменшенні вхідної напруги змінного струму, стабілізатор працює в режимі підвищення напруги, що забезпечується комутацією входу 3 і входу 2 вхідного реле  $P_1$  та комутацією входів 3 із входами 1 паралельного реле  $P_2$  і вихідного реле  $P_3$ . При цьому, на паралельний ключ М і послідовний ключ В подаються протифазні керуючі широтно – імпульсно – модульовані імпульси, до того ж

час включення ключа М більше часу включення ключа В.

При збільшенні вхідної напруги змінного струму, стабілізатор працює в режимі пониження напруги, що забезпечується комутацією входів 3 із входами 2 паралельного реле Р<sub>2</sub> і вихідного реле Р<sub>3</sub> та комутацією входу 3 і входу 1 вхідного реле Р<sub>1</sub>.

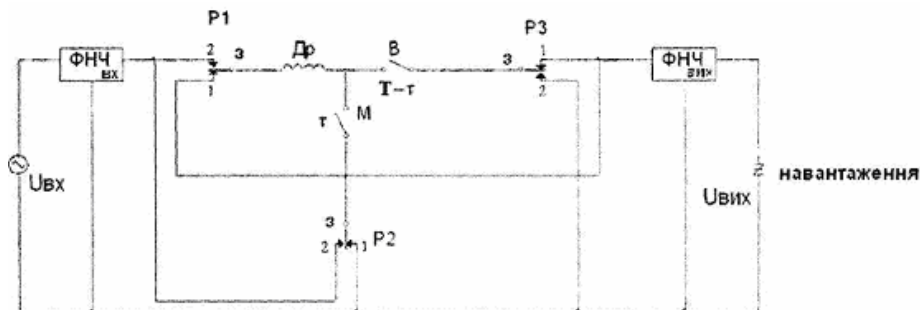
При зменшенні опору навантаження, стабілізатор працює в режимі підвищення напруги, що забезпечується комутацією входу 3 і входу 2 вхідного реле Р<sub>1</sub> та комутацією входів 3 із входами 1 паралельного реле Р<sub>2</sub> і вихідного реле Р<sub>3</sub>.

При збільшенні опору навантаження, стабілізатор працює в режимі пониження напруги, що забезпечується комутацією входів 3 із входами 2

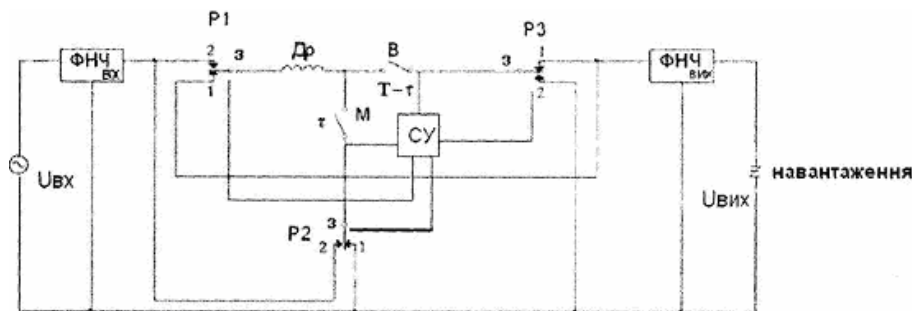
паралельного реле Р<sub>2</sub> і вихідного реле Р<sub>3</sub> та комутацією входу 3 і входу 1 вхідного реле Р<sub>1</sub>.

Виконання елементів і зв'язків регулятора напруги змінного струму, як воно описане вище, дозволяє отримати пристрій, що, у порівнянні з існуючими аналогами, має мінімальні габарити, вагу та вартість при достатній економічності і надійності виробу в цілому.

Як можна побачити, сукупність усіх наведених вище ознак сприяє отриманню одного спільного заявленого технічного результату, не є частиною рівня техніки та не впливає явно з рівня техніки і може бути використаною у промисловості. Схема регулятора напруги змінного струму може бути застосована у галузі електроніки і автоматики, зокрема, у стабілізаторах напруги змінного струму.



Фіг. 1



Фіг. 2