



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 52813

(13) C2

(51) 7 H02J3/18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СТАТИЧНЕ РЕГУЛЬОВАНЕ ДЖЕРЕЛО РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ ТРИФАЗНИХ МЕРЕЖ

1

2

(21) 2000084715

(22) 08 08 2000

(24) 15 01 2003

(46) 15 01 2003, Бюл. № 1, 2003 р.

(72) Лозинський Орест Юліанович, Лозинський Андрій Орестович, Паранчук Ярослав Степанович, Паранчук Роман Ярославович

(73) ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"

(56) Минеев Р В и др. Повышение эффективности электроснабжения электропечей, М. 1986

EP 00037027 1981

EP 000462221 1982

ГЫ 4560917 1985

(57) Статичне регульоване джерело реактивної потужності для трифазних мереж, що у кожній фазі містить конденсаторну батарею постійної ємності, до якої паралельно під'єднані послідовно з'єднані основний реактор і основна пара зустрічно-паралельно включених тиристорів, керуючі електроди яких під'єднані до виходу основної системи імпульсно-фазового керування, вхід синхронізації якої з'єднаний з трансформатором напруги, яке відрізняється тим, що додатково у кожній фазі

містить трансформатор струму, щонайменше один додатковий реактор і відповідно їх число стільки ж додаткових пар зустрічно-паралельно включених тиристорів, систем імпульсно-фазового керування і на одиницю більше за це число елементів "зона нечутливості - обмеження", при цьому трансформатор струму під'єднаний до основної пари зустрічно-паралельно включених тиристорів та послідовно під'єднаний з послідовно з'єднаними додатковими реакторами, до кожного додаткового реактора паралельно під'єднана відповідна додаткова пара зустрічно-паралельно включених тиристорів, керуючі електроди яких під'єднані до виходів відповідної додаткової системи імпульсно-фазового керування, керуючі входи кожної системи імпульсно-фазового керування під'єднані до виходу відповідного елемента "зона нечутливості-обмеження", а входи останніх сполучені між собою і одночасно є входом керування статичного регульованого джерела реактивної потужності для трифазних мереж, вихід трансформатора струму з'єднаний з входом синхронізації кожної додаткової системи імпульсно-фазового керування

Винахід відноситься до електротехніки, зокрема до компенсаторів реактивної потужності електропостачальних мереж змінного струму з динамічним несиметричним навантаженням

Відомий статичний компенсатор реактивної потужності (Минеев Р В и др. Повышение эффективности электроснабжения электропечей - М. Энергоатомиздат, 1986 - 208с. рис 5 2 6, стор 166), що призначений для швидкодіяного регулювання реактивної потужності, який у кожній фазі складається з конденсаторної батареї постійної ємності до якої паралельно під'єднано n віток, кожен з яких складає послідовне з'єднання реактора і пари зустрічно-паралельно включених тиристорів, яка працює у режимі ключа для комутації відповідного реактора

Недоліком цього компенсатора є дискретність регулювання реактивної потужності

Із відомих статичних компенсаторів реактивної

потужності найближчим за своєю суттю є статичний компенсатор реактивної потужності (Минеев Р В и др. Повышение эффективности электроснабжения электропечей - М. Энергоатомиздат, 1986 - 208с. рис 5 2 в, стор 166), який у кожній фазі містить конденсаторну батарею постійної ємності, до якої паралельно під'єднані послідовно з'єднані реактор і пара зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів, керуючі електроди яких підключені до виходу системи імпульсно-фазового керування, вхід синхронізації якої з'єднаний з трансформатором напруги

Описана схема статичного компенсатора забезпечує плавне швидкодіяне регулювання струму, що протікає через реактор, а, значить, і плавне швидкодіяне регулювання реактивної потужності компенсатора. Однак при роботі цього компенсатора має місце генерація в мережу вищих гармонік струму як у симетричних, так і у несиметричних

(13) C2

(11) 52813

(19) UA

режимах, що негативно впливає на показники роботи електромережі, режими і показники роботи інших електроспоживачів, що живляться від цієї мережі через несинусоїдальність форми напруги, а також створює завади в системі телефонної мережі

В основу винаходу поставлено задачу створення статичного регульованого джерела реактивної потужності, в якому завдяки додатковому використанню іншого способу плавного тиристорного регулювання струму реактора досягалося б зниження рівня вищих гармонік у кривій струму статичного компенсатора і за рахунок цього зменшувався б негативний вплив на показники роботи електромережі, режими і показники роботи інших електроспоживачів, що живляться від цієї мережі, зменшувався б негативний вплив на роботу системи телефонної мережі, тобто підвищувалася б якість регулювання реактивної потужності

Поставлене завдання досягається тим, що статичне регульоване джерело реактивної потужності, що у кожній фазі містить конденсаторну батарею постійної ємності, до якої паралельно під'єднані послідовно з'єднані основний реактор і основна пара зустрічно-паралельно включених тиристорів, керуючі електроди яких під'єднані до виходу основної системи імпульсно-фазового керування, вхід синхронізації якої з'єднаний з трансформатором напруги, яке відрізняється тим, що додатково у кожній фазі містить трансформатор струму, щонайменше один додатковий реактор і відповідно їх числу стільки ж додаткових пар зустрічно-паралельно включених тиристорів, систем імпульсно-фазового керування і на одиницю більше за це число елементів "зона нечутливості - обмеження", при цьому трансформатор струму під'єднаний до основної пари зустрічно-паралельно включених тиристорів та послідовно під'єднаний з послідовно з'єднаними додатковими реакторами, до кожного додаткового реактора паралельно під'єднана відповідна додаткова пара зустрічно-паралельно включених тиристорів, керуючі електроди яких під'єднані до виходів відповідної додаткової системи імпульсно-фазового керування, керуючі входи кожної системи імпульсно-фазового керування під'єднані до виходу відповідного елемента "зона нечутливості-обмеження", а входи останніх сполучені між собою і одночасно є входом керування статичного регульованого джерела реактивної потужності для трифазних мереж, вихід трансформатора струму з'єднаний з входом синхронізації кожної додаткової системи імпульсно-фазового керування

Завдяки тому, що у даному пристрої на частині діапазону регулювання струму втрати з послідовно з'єднаних реакторів лише один з додаткових реакторів шунтується на певну регульовану частину півперіода напруги мережі живлення, а інші додаткові реактори або шунтуються на весь півперіод, або включені у коло протікання цього струму на всьому півперіоді (не шунтуються), зменшується доля нелінійного опору у повному опорі цієї втрати, що призводить до зниження рівня вищих гармонік у кривій струму компенсатора, тобто має місце покращання його синусоїдальності і, тим самим, зменшується негативний вплив запропонованого

джерела реактивної потужності на показники роботи електромережі, режими і показники роботи інших електроспоживачів, що живляться від цієї мережі, зменшується негативний вплив на роботу системи телефонної мережі, тобто підвищується якість регулювання реактивної потужності

На фіг 1 представлено схему статичного регульованого джерела реактивної потужності для трифазних мереж, на фіг 2 показано діаграму налагодження сигналів елементів "зона нечутливості-обмеження", на фіг 3 подано варіант схеми одного елемента "зона нечутливості-обмеження", на фіг 4 наведено залежності коефіцієнта несинусоїдальності форми кривої струму від вхідної напруги керування статичного регульованого джерела реактивної потужності

Статичне регульоване джерело реактивної потужності для трифазних мереж у кожній фазі містить конденсаторну батарею постійної ємності 1, основний реактор 2, основну пару зустрічно-паралельно включених тиристорів 3, основну систему імпульсно-фазового керування 4, трансформатор напруги 5, трансформатор струму 6, додаткові реактори 7, 8, 9, 10, додаткові пари зустрічно-паралельно включених тиристорів 11, 12, 13, 14, додаткові системи імпульсно-фазового керування 15, 16, 17, 18, елементи "зона нечутливості-обмеження" 19, 20, 21, 22, 23, причому конденсаторна батарея постійної ємності 1 паралельно у кожній фазі під'єднана до послідовно з'єднаних основного реактора 2, основної пари зустрічно-паралельно включених тиристорів 3, трансформатора струму 6 та додаткових реакторів 7, 8, 9, 10, до кожного додаткового реактора 7, 8, 9, 10 паралельно під'єднана відповідна додаткова пара зустрічно-паралельно включених тиристорів 11, 12, 13, 14, а керуючі електроди тиристорів основної 3 і кожної з додаткових пар 11, 12, 13, 14 зустрічно-паралельно включених тиристорів під'єднані до виходів основної 4 і додаткових 15, 16, 17, 18 систем імпульсно-фазового керування відповідно, а керуючі входи основної 4 і додаткових 15, 16, 17, 18 систем імпульсно-фазового керування під'єднані до виходу відповідного елемента "зона нечутливості-обмеження" 19, 20, 21, 22, 23, входи яких сполучені між собою і одночасно є входом керування статичного регульованого джерела реактивної потужності, вихід трансформатора напруги 5 під'єднаний до входу синхронізації основної системи імпульсно-фазового керування 4, а вихід трансформатора струму 6 підключений до входів синхронізації кожної додаткової системи імпульсно-фазового керування 15, 16, 17, 18

Сумарна потужність Q_{Σ} статичного регульованого джерела реактивної потужності, що складається з паралельного з'єднання конденсаторної батареї постійної ємності 1 і регульованого індуктивного опору послідовно з'єднаних реакторів 2, 7, 8, 9, 10, за умови нехтування активними втратами, визначається різницею потужностей окремих його елементів

$$Q_{\Sigma} = \pm(Q_L - Q_C), \quad (1)$$

де Q_C , Q_L - потужність конденсаторної батареї 1 і послідовно з'єднаних реакторів 2, 7, 8, 9 та 10 відповідно

Якщо знехтувати коливаннями напруги U ме-

режі живлення, то у першому наближенні потужність конденсаторної батареї 1 можна вважати сталою, а потужність, що споживається послідовно з'єднаними реакторами 2, 7, 8, 9, 10 буде змінюватися в залежності від значення їх сумарного індуктивного опору

$$Q_C = \frac{U^2}{X_C} \text{ const} \quad Q_L = \frac{U_2^2}{X_L} \text{ var} \quad (2)$$

де X_C - опір конденсаторної батареї 1,

X_L - опір першій гармоніці струму втіки з послідовно з'єднаних основного 1 та додаткових 7, 8, 9, 10 реакторів

Діапазон регулювання реактивної потужності визначається співвідношенням номінальних потужностей конденсаторної батареї 1 і основного реактора 2. Якщо потужність, що споживається в цілому з послідовно з'єднаними основним 2 і додатковим реакторів 7, 8, 9, 10 змінювати від нуля до номінальної, що дорівнює номінальній потужності основного реактора 2, то при рівності установлених потужностей конденсаторної батареї 1 і основного реактора 2, сумарна потужність Q_{Σ} статичного регульованого джерела реактивної потужності згідно (1) змінюватиметься в межах від нуля до Q_C , при цьому джерело буде генерувати реактивну потужність у мережу. Якщо ж номінальну потужність основного реактора 2 вибрати більшою за номінальну потужність конденсаторної батареї 1, то дане регульоване джерело реактивної потужності згідно (1) може працювати як у режимі генерування, так і в режимі споживання реактивної потужності з плавним переходом від одного режиму до другого.

У статичному регульованому джерелі реактивної потужності для трифазних мереж три однофазні конденсаторні батареї 1 з'єднані у зірку (Y) і через відповідні комутуючі пристрої (наприклад вакумні вимикачі) підключені до шин мережі живлення. Три однофазні втіки, які складаються з послідовного з'єднаних основного реактора 2, основної пари зустрічно-паралельно з'єднаних тиристорів 3 і додаткових реакторів 7, 8, 9, 10 з'єднані у трикутник (Δ) і через комутуючі пристрої підключені до фазних шин мережі живлення. Первинна обмотка трансформатора напруги 5 під'єднана до відповідних шин мережі, напруга між якими служить сигналом синхронізації для формування фази імпульсів керування основною парою зустрічно-паралельно включених тиристорів 3. Кількість додаткових реакторів і значення їх номінальних опорів вибираються з умови отримання бажаного зниження величини рівня вищих гармонік у кривій струму 4 статичного регульованого джерела реактивної потужності.

Статичне регульоване джерело реактивної потужності для трифазних мереж працює наступним чином. Втіка з послідовно з'єднаних основного 2 і додаткових 7, 8, 9, 10 реакторів комутується основною парою зустрічно-паралельно включених тиристорів 3 синхронно з напругою мережі живлення, яка подається на вхід синхронізації основної системи імпульсно-фазового керування 4 з виходу трансформатора напруги 5. Якщо напруга керування U_k на вході основної системи імпульсно-фазового керування 4 змінювати від нуля до максимального значення $U_{k \text{ max}}$, то фаза імпульсів

керування, які подаються на входи основної пари зустрічно-паралельно включених тиристорів 3 змінюється на 90° для $U_k=0$ кут відкривання тиристорів додатного та від'ємного напрямів дорівнює 90° відносно моменту переходу додатного для даного тиристора напруги через нуль, а кут їх провідності дорівнює $\lambda=180^\circ$, для $U_k=U_{k \text{ max}}$ - кут відкривання α дорівнює $\alpha=180^\circ$, а кут провідності $\lambda=0^\circ$, тобто для $U_k=0$ струм i_L через послідовно з'єднані основний 2 і додаткові 7, 8, 9, 10 реактори проходить упродовж всього періоду, а при $U_k=U_{k \text{ max}}$ - тиристори закриті і струм $i_L=0$ на всьому півперіоді напруги живлення. Для $0 < U_k < U_{k \text{ max}}$ кут провідності основної пари зустрічно-паралельно включених тиристорів 3 знаходиться в діапазоні $0^\circ < \lambda < 360^\circ - 2\alpha < 180^\circ$, тобто на одній частині півперіода, що визначається значенням кута α відкривання тиристорів (на часових інтервалах $\alpha < \omega t < 2\pi - \alpha$) тиристори проводять струм $i_L \neq 0$, а на інших (коли $\pi/2 < \omega t < \alpha$ або $2\pi - \alpha < \omega t < 3\pi/2$) тиристори закриті $i_L=0$. Керування величиною індуктивного опору додаткових реакторів 7, 8, 9, 10 першій гармоніці струму здійснюється у функції напруги керування, що подається на входи відповідних додаткових систем імпульсно-фазового керування 15, 16, 17, 18 і реалізується шляхом шунтування цих реакторів на певну регульовану у функції цієї напруги керування частину півперіода напруги живлення відповідними додатковими парами зустрічно-паралельно включених тиристорів 11, 12, 13, 14. Формування керуючих імпульсів для цих тиристорів виконується відповідними додатковими системами імпульсно-фазового керування 15, 16, 17, 18, а їх синхронізація реалізована у функції фази струму i_L втіки послідовного з'єднаних реакторів 2, 7, 8, 9, 10. Для цього сигнал з виходу трансформатора струму 6, що пропорційний струму i_L , подається на синхронізуючі входи додаткових систем імпульсно-фазового керування 15, 16, 17, 18. Якщо напруга керування на вході певної додаткової системи імпульсно-фазового керування (15, 16, 17 чи 18) дорівнює нулю, то кут відкривання тиристорів відповідної додаткової пари (11, 12, 13 чи 14) зустрічно-паралельно включених тиристорів відносно фази струму i_L встановлюється рівним нулю, тобто відповідний додатковий реактор шунтується на протязі всього півперіоду у цьому випадку кут провідності тиристорів $\lambda=180^\circ$, струм відповідного додаткового реактора дорівнює нулю і весь струм i_L протікає через відповідну додаткову пару зустрічно-паралельно включених тиристорів. Для випадку, коли напруга керування на вході певної додаткової системи імпульсно-фазового керування (15, 16, 17 чи 18) дорівнює максимальному значенню, то кут α відкривання тиристорів відповідної додаткової пари (11, 12, 13, чи 14) зустрічно-паралельно включених тиристорів встановлюється рівним $\alpha=90^\circ$. У цьому випадку тиристори цієї пари не відкриваються ($\lambda=0^\circ$) і весь струм основного реактора i_L проходить через відповідний додатковий реактор (7, 8, 9, чи 10). Якщо ж сигнал керування на вході певної системи імпульсно-фазового керування (15, 16, 17 чи 18) знаходиться в межах між нулем та максимальним значенням, то кут α відкривання тиристорів відповідної їй додаткової

пари зустрічно-паралельно включених тиристорів (11, 12, 12 чи 14) знаходиться в межах $0^\circ < \alpha < 90^\circ$, а кут їх провідності $\lambda = 180^\circ - 2\alpha$. Для такого значення сигналу керування в інтервали часу, коли $0 < \omega t < \alpha$ або $\pi/2 - \alpha < \omega t < \pi/2$, тиристири відповідної пари (11, 12, 13, чи 14) зустрічно-паралельно включених тиристорів закриті і струм додаткового реактора дорівнює струмові I_L , а в інтервали часу $\alpha < \omega t < \pi/2 - \alpha$ на кожному півперіоді відкривається один з тиристорів цієї додаткової пари і шунтує відповідний додатковий реактор. У цьому випадку сума струмів тиристора і відповідного додаткового реактора дорівнює струмові I_L . При такому способі плавного регулювання струму I_L послідовно сполучених реакторів (коли реактор шунтується, а не комутується, парою зустрічно-паралельно включених тиристорів на певну частину півперіода) відсутні інтервали на півперіоді регулювання, коли регульований струм дорівнює нулю ($I_L = 0$), що позитивно впливає на покращання синусоцальності форми регульованого струму I_L , а, значить, і струму I_K джерела реактивної потужності.

Значення напруги на вході керування основної і кожної додаткової системи імпульсно-фазового керування 4, 15, 16, 17, 18, згідно наведеного вище опису, визначає кути регулювання основної 3 і кожної з додаткових 11, 12, 13, 14, пар зустрічно-паралельно включених тиристорів, що однозначно визначає усереднене на періоді значення струму I_L у втці послідовно з'єднаних основного 2 і додаткових 7, 8, 9, 10 реакторів. Для регулювання напруг на входах керування кожної системи імпульсно-фазового керування 4, 15, 16, 17, 18 у функції вхідного сигналу керування U_{BK} , що є сигналом задання реактивної потужності статичного регульованого джерела реактивної потужності служать елементи "зона нечутливості-обмеження" 19, 20, 21, 22, 23, діаграма сигналів яких подана на фіг 2. Кожен елемент "зона нечутливості-обмеження" може бути реалізований згідно з відомими схемами на діодно-резистивних елементах чи на схемах з операційними підсилювачами. На фіг 3 подано варіант схеми елемента "зона нечутливості-обмеження" на діодно-резистивних елементах (Тетельбаум И.М., Шнейдер Ю.Р. 400 схем для ЭВМ М., Энергия, 1978, с 58-59). Налаштування елементів "зона нечутливості-обмеження" полягає у визначенні напруг U' та U'' на вході і-того елемента "зона нечутливості-обмеження", що відповідають початку його відкривання (виходу із закритого стану) і початку переходу у повністю відкритий стан (стан насичення). Отримати значення цих напруг можна за такими виразами

$$U' = (i-1)U_{Bx\max}/N, \quad U'' = iU_{Bx\max}/N, \quad (3)$$

де $i = 1, 2, 3, \dots, N$ - порядковий номер налагоджуваного елемента "зона нечутливості-обмеження", $U_{Bx\max}$ - максимальне значення вхідної напруги керування статичного регульованого джерела реактивної потужності, N - кількість елементів "зона нечутливості-обмеження".

Для приведеної на фіг 1 варіанти схеми статичного регульованого джерела реактивної потужності $N=5$, номер $i=1$ - відповідає елементу "зона нечутливості-обмеження" 20, $i=2$ - відповідає елементу 21, $i=3$ - відповідає елементу 22, $i=4$ - відповідає елементу 23, $i=5$ - відповідає елементу 19.

Величина максимального сигналу на виході елемента "зона нечутливості-обмеження" $U_{Bx\max}$ встановлюється рівною максимальному сигналу керування відповідної системи імпульсно-фазового керування $U_{Bx\max} = U_{k\max}$.

Розглянемо роботу статичного регульованого джерела реактивної потужності для трьох значень вхідного керуючого сигналу U_{Bx1} , U_{Bx2} та $U_{Bx\max}$ (фіг 2). Значенню вхідного сигналу керування U_{Bx1} відповідає режим роботи статичного регульованого джерела реактивної потужності, при якому кут керування додаткових пар зустрічно-паралельно включених тиристорів 11 і 12 $\alpha = 90^\circ$ (відповідні їм додаткові реактори 7 і 8 включені в коло струму I_L , упродовж всього півперіоду напруги живлення, т.б. $\lambda = 0$ і вони створюють опір першій гармоніці струму i , що дорівнює їх номінальним значенням $X_7 = X_7n$, $X_8 = X_8n$), додатковий реактор 9 шунтуватиметься додатковою парою зустрічно-паралельно включених тиристорів 13 з кутом відкривання $\alpha = 45^\circ$ його опір першій гармоніці струму I_L визначається з регульовальної характеристики цього паралельного з'єднання $X_9 = f_9(U_{Bx} - U_3')$, додатковий реактор 10 шунтуватиметься додатковою парою зустрічно-паралельно включених тиристорів 14 на протязі всього півперіоду напруги живлення ($\alpha = 0$, $\lambda = 180^\circ$, $X_{10} = 0$), а кут керування основної пари зустрічно-паралельно включених тиристорів 3 дорівнюватиме $\alpha = 90^\circ$, а відповідний йому кут провідності $\lambda = 180^\circ$. Сумарна реактивна потужність статичного регульованого джерела реактивної потужності для вхідної напруги керування U_{Bx1} дорівнюватиме

$$Q_\Sigma = \frac{U^2}{X_{2n} + X_{7n} + X_{8n} + f_9(U_{Bx1} - U_3')} - \frac{U^2}{X_c}$$

(4)

Вхідній напрузі керування U_{Bx2} відповідатиме режим, при якому всі додаткові реактори 7, 8, 9, 10 включені в коло струму I_L на протязі всього півперіоду напруги живлення $\alpha = 90^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, а кут регулювання основної пари зустрічно-паралельно включених тиристорів 3 дорівнює $\alpha \leq 135^\circ$. Якщо ж вхідна напруга керування $U_{Bx} = U_{Bx\max}$, то кут керування α і кут провідності λ основної пари 3 зустрічно-паралельно включених тиристорів $\alpha = 180^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, тобто тиристири пари 3 не відкриваються і струм $I_L = 0$ ($I_L = 0$), і згідно (1) сумарна реактивна потужність компенсатора дорівнює $Q_s = Q_c$. Якщо ж $U_{Bx} = 0$, то кут керування та кут провідності основної пари зустрічно-паралельно включених тиристорів 3 дорівнюють $\alpha = 90^\circ$, $\lambda = 180^\circ$, а у всіх додаткових 11, 12, 13, 14 парах зустрічно-паралельно включених тиристорів кут керування тиристорів $\alpha = 0$, а провідності $\lambda = 180^\circ$. У такому режимі основна пара зустрічно-паралельно включених тиристорів 3 повністю відкрита, а всі додаткові реактори 7, 8, 9 та 10 зашунтовані і струм I_L у втці з послідовно з'єднаних реакторів визначається лише номінальним опором основного реактора X_{2n} .

$I_L = I_{Ln} = \frac{U}{X_{2n}}$
тобто вткою з послідовно з'єднаних реакторів споживатиметься номінальна (максимальна) по-

тужність $Q_L = Q_{LH} = \frac{U^2}{X_{2H}}$, а сумарна потужність джерела реактивної потужності згідно (1) дорівнює $Q_{\Sigma} = Q_{LH} + Q_C$

Таким чином, завдяки введенню в коло протікання струму I_L додаткових реакторів 7, 8, 9, 10 досягається можливість регулювання величини цього струму від номінальної (максимальної)

$$I_{LH} = \frac{U}{X_{2H}} \quad \text{до} \quad \text{мінімальної}$$

$$I_{Lmin} = \frac{U}{X_{2H} + X_{7H} + X_{8H} + X_{9H} + X_{10H}} \quad \text{мінімальною}$$

величиною неплінності, яку складає лише один додатковий реактор при шунтуванні його відповідною парою зустрічно-паралельно включених тиристорів, чому відповідає мінімальне спотворення форми кривої струму I_L . Для подальшого регулювання струму I_L від досягнутого мінімального I_{Lmin} до нуля, включається у регулювання основна пара зустрічно-паралельно включених тиристорів 3, при якому кут відкриття тиристорів зростає від мінімального $\alpha = \alpha_{min} = 90^\circ$ ($\lambda = \lambda_{max} = 180^\circ$) і до максимального $\alpha = \alpha_{max} = 180^\circ$ ($\lambda_{min} = 0^\circ$). Зважаючи на те, що основна гармоніка струму I_L у цьому діапазоні регулювання складає незначну доп. по відношенню до її номінального значення, то і значення амплітуд вищих гармонік будуть незначними по відношенню до номінального (максимального) значення першої гармоніки струму I_L , і тому спотворення ними форми струму I_L статичного регульованого джерела реактивної потужності будуть мінімальними

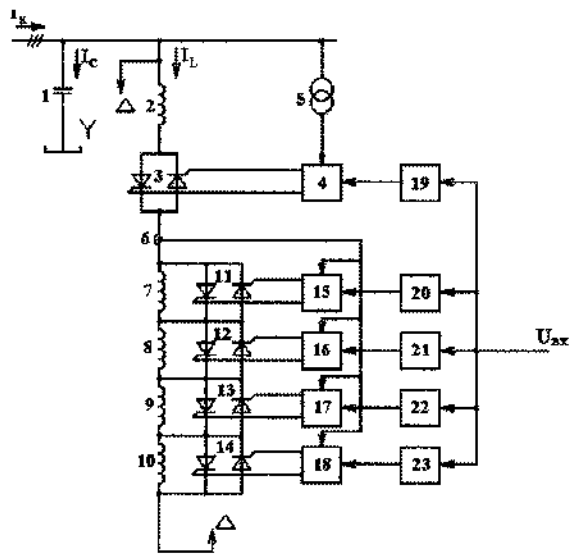
Відповідним підбором кількості додаткових реакторів 7, 8, 9, 10 і значень їх номінальних опорів по відношенню до номінального опору основного реактора 2 можна впливати на рівень зниження значень вищих гармонік у кривій струму I_L статичного регульованого джерела реактивної потужності

Для прикладу, на рис. 4 показано залежність коефіцієнта несинусоїдальності струму I_L при регулюванні його значення від номінального до нуля

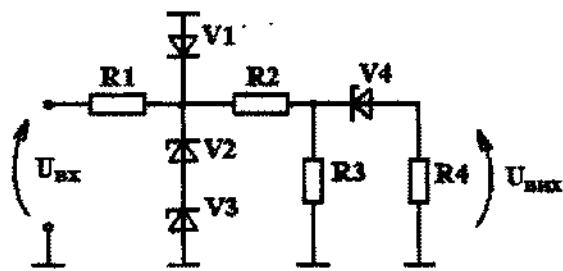
з використанням відомого пристрою (прототип) (суцільна лінія) і за допомогою запропонованого статичного регульованого джерела реактивної потужності (штрихова лінія) для однієї фази при використанні чотирьох додаткових реакторів 7, 8, 9, 10 з такими значеннями опорів реакторів, віднесених до номінального опору основного реактора $X_{2H}^* = 1$, додаткових реакторів

$X_{7H}^* = 1$, $X_{8H}^* = 2$, $X_{9H}^* = 4$, $X_{10H}^* = 8$. Якщо прийняти, що вхідна напруга статичного регульованого джерела реактивної потужності змінюється в межах $0 \leq U_{BX} \leq 10V$ випадковим чином з нормальним законом розподілу з такими параметрами математичне сподівання $U_{BX} = 5V$, середньоквадратичне відхилення $\sigma_{UBX} = 1.75V$, то середнє значення і дисперсія коефіцієнта несинусоїдальності при використанні відомого пристрою (прототипа) дорівнюють відповідно $K_H = 0.0739$, $D_K = 25.43 \cdot 10^{-4}$, а при роботі запропонованого статичного регульованого джерела реактивної потужності середнє значення і дисперсія коефіцієнта несинусоїдальності форми кривої струму I_L є такими $K_H = 0.01035$, $D_{KH} = 1.049 \cdot 10^{-4}$, тобто має місце зниження середнього значення коефіцієнта несинусоїдальності у 7.142 разів, а дисперсії у 24.23 рази. Якщо ж параметри вхідного сигналу статичного регульованого джерела реактивної потужності стануть іншими

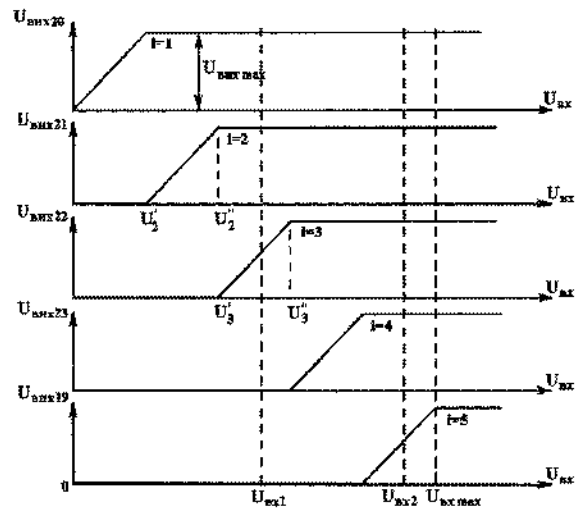
математичне сподівання $U_{BX} = 6V$, середньоквадратичне відхилення $\sigma_{UBX} = 1.5V$, то середнє значення і дисперсія коефіцієнта несинусоїдальності при використанні відомого пристрою (прототипа) дорівнюватимуть відповідно $K_H = 0.0733$, $D_{KH} = 25.53 \cdot 10^{-4}$, а при роботі запропонованого статичного регульованого джерела реактивної потужності середнє значення і дисперсія коефіцієнта несинусоїдальності форми кривої струму 4 будуть такими $K_H = 0.007187$, $D_{KH} = 0.4 \cdot 10^{-4}$, тобто має місце зниження середнього значення коефіцієнта несинусоїдальності у 10.2 рази, а дисперсії у 63.08 разів



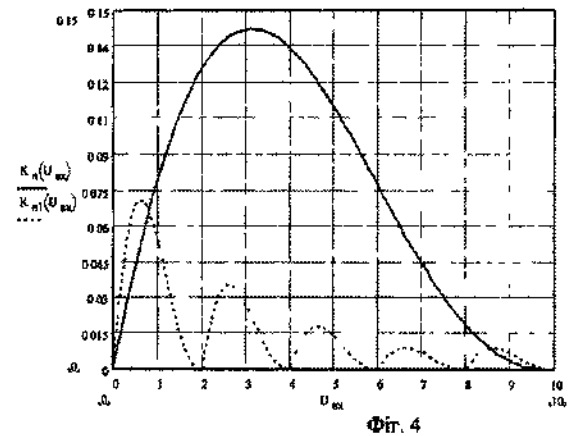
Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 2



Фиг. 4