



УКРАЇНА

(19) UA (11) 42564 (13) U
(51) МПК (2009)
H02J 3/18МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОТУЖНОСТІ ТРИФАЗНОГО СПОЖИВАЧА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ З КЕРОВАНИМИ КОНДЕНСАТОРАМИ

1

2

(21) u200901404

(22) 19.02.2009

(24) 10.07.2009

(46) 10.07.2009, Бюл.№ 13, 2009 р.

(72) БЯЛОБРЖЕСЬКИЙ ОЛЕКСІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ, ДАВИДОВ ОЛЕКСАНДР ЮРІЙОВИЧ, ШОКАРЕВ ДМИТРО АНАТОЛІЙОВИЧ

(73) КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

(57) Спосіб підвищення коефіцієнта потужності трифазного споживача електричної енергії з керованими конденсаторами, що включає вимірювання напруги на шинах змінного струму, порівняння напруги з уставками, формування керувальних сигналів, при перевищенні напругою уставки від-

ключають конденсаторні батареї-фільтри вищих гармонік, вимірюють величини і фази гармонік струму в ланцюзі тиристорно-реакторної групи і формують у струмі статичного компенсатора гармоніки, пропорційні і протифазні виміряним гармонікам, який **відрізняється** тим, що розраховують поточний струм компенсації по кожній із фаз, порівнюють із заданим струмом компенсації по кожній із фаз, у разі перевищення заданого значення відключають компенсацію та видають сигнал, на підставі поточного значення коефіцієнта форми напруги кожної з фаз мережі змінюють режим частотно-імпульсної модуляції підключеного стану конденсаторних батарей, регулюють значення та форму струму компенсації, порівнюють діюче значення напруги кожної фази із заданим значенням.

Корисна модель відноситься до електротехніки, і може використовуватися в пристроях для компенсації реактивної потужності.

Відомий спосіб керування компенсатором, що є типовим незалежно від способу підключення компенсатора реактивної потужності [Спосіб керування компенсатором реактивної потужності та пристрій що його реалізує пат. Російської Федерації 228295. МПК: H02J3/18. Опубл. 20.08.2006 Бюл. №23 Каширін В.В., Ноконов В.В., Солтус К.П.]. Для кожної робочої зони керування тягових двигунів визначаючих величину реактивної потужності залежності від напруги і струму навантаження підключають до джерела живлення джерело реактивної потужності, задається значення мінімально допустимої реактивної потужності джерела реактивної потужності, а також максимальне значення реактивної потужності джерела реактивної потужності при підключенні до різних джерел живлення, для кожної робочої зони керування напруги тягових двигунів визначають величину реактивної потужності навантаження, порівнюють максимальне значення реактивної потужності джерела реактивної потужності при роботі від різних джерел з фактичним значенням реактивної потужності навантаження і підключають мінімально перевищуючий по

значенню реактивної потужності навантаження джерело реактивної потужності до відповідного джерела живлення, при зниженні значення реактивної потужності джерела реактивної потужності нижче мінімально допустимого значення відключають джерело реактивної потужності від джерела живлення, причому в проміжках часу між переключеннями з одного джерела живлення на інше або повторному підключенні джерела реактивної потужності до джерел живлення до джерела реактивної потужності підключають активне навантаження. Відомий спосіб береться за перший аналог.

Недоліки даного способу наступні: при переключенні або повторному ввімкненні джерела реактивної потужності до компенсуючого ланцюга ємності на визначений час підключення до активного опору, в результаті чого зростають втрати в компенсуючому пристрої; в якості ключового елемента використовується тиристорний ключ не дозволяючий реалізувати плавне регулювання компенсацією реактивної потужності; спосіб передбачає роботу системи компенсації нелінійним навантаженням (тиристорний випрямляч), при цьому управління компенсаторів здійснюється по основній гармоніці струму, таким чином не здійснюючи компенсації вищих гармонік; спосіб перед-

(13) U
(11) 42564
(19) UA

бачає дискретне регулювання реактивної потужності з великим кроком дискретизації; спосіб виключає можливість компенсації провалів потужності, які виникають при пуску або підключенні потужних споживачів.

Відоме технічне рішення [Статичний компенсатор реактивної потужності пат. Російської Федерації 2282912. МПК: H01F29/14. Опубл. 27.07.2006 Бюл. №22 Брянцев О.М., Долгополов А.Г.], що є типовим незалежно від типу електричної мережі на яку розрахований. У способі керування до шин змінного струму паралельно підключають тиристорно-реакторну групу, конденсаторні батареї-фільтри вищих гармонік і статичний компенсатор реактивної потужності на повністю керованих вентилях. Вимірюють напругу на шинах змінного струму, порівнюють напругу із значенням максимальної і мінімальної напруги, формують управляючі сигнали, причому при підвищенні встановленої максимальної напруги відключають конденсаторні батареї-фільтри вищих гармонік, вимірюють величини і фази гармонік струму в ланцюзі тиристорно-реакторної групи і формують в струмі статичного компенсатора гармоніки, пропорційно і протифазні виміряним гармонікам, а при зниженні мінімальної напруги нижче встановленої відключають тиристорно-реакторну групу і включають конденсаторні батареї-фільтри вищих гармонік. Відоме технічне рішення береться за другий аналог.

Недоліками даного способу є: підключення конденсаторної батареї відбувається дискретно, в результаті чого виникає перекомпенсація або недокомпенсація реактивної потужності; реалізація способу передбачає наявність реактору з підмагнічуванням великої потужності, що знижує економічні показники системи; відсутність можливості плавного керування процесу компенсації реактивної потужності; необхідність підключення фільтрів вищих гармонік призводить до підвищення потужності реактору; наявність індукційно-ємнісних елементів ланцюга компенсатора постійно підключених в мережу призводить до появи резонансних явищ.

Найбільш близьким за технічним рішенням до способу, що заявляється є спосіб компенсації реактивної потужності з тиристорно-реакторною групою [Спосіб керування приладом компенсації реактивної потужності пат. Російської Федерації 2280934. МПК: H02J3/18. Опубл. 27.07.2006 Бюл. №21 Мазуров М.І., Ніколаєв О.В., Дайновський Р.А., Краснова Б.П.]. Спосіб управління пристроєм компенсації реактивної потужності, заключається в тому, що вимірюють напругу на шинах змінного струму, порівнюють напругу з уставками, формують управляючі сигнали, причому при перевищенні напругою відключають конденсаторні батареї-фільтри вищих гармонік, вимірюють величини і фази гармонік струму в ланцюзі тиристорно-реакторної групи і формують у струмі статичного компенсатора гармоніки, пропорційно і протифазні виміряним гармонікам, а при зниженні напруги нижче уставки відключають тиристорно-реакторну групу і включають конденсаторні батареї-фільтри

вищих гармонік. Відомий спосіб береться за прототип.

Недоліками у способу є те, що керування приладом не дає змоги компенсувати гармоніки струму, які не кратні частоті живлячої напруги; спосіб виключає можливість компенсації провалів потужності, які виникають при пуску або відключенні потужних споживачів; спосіб надає можливості пофазного регулювання ступеня компенсації.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищення ефективності регулювання коефіцієнту потужності по кожній фазі за рахунок компенсації реактивної потужності методом плавного регулювання еквівалентом ємності конденсаторної батареї в залежності від струму та напруги навантаження та коефіцієнту форми напруги по кожній фазі.

Спосіб компенсації реактивної потужності заключається в тому, що вимірюють напругу на шинах змінного струму, порівнюють напруги з уставками, формують управляючі сигнали, при перевищенні напругою уставки відключають конденсаторні батареї-фільтри вищих гармонік, вимірюють величини і фази гармонік струму в ланцюзі тиристорно-реакторної групи і формують у струмі статичного компенсатора гармоніки, пропорційно і протифазні виміряним гармонікам, згідно корисної моделі, розраховується поточний струм компенсації по кожній із фаз, порівнюється із заданим струмом компенсації по кожній із фаз, у разі перевищення заданого значення відключається компенсація та видається сигнал, на підставі поточного значення коефіцієнту форми напруги кожної з фаз мережі змінюють режим частотно-імпульсної модуляції підключеного стану конденсаторних батарей, регулюють значення та форму струму компенсації, порівнюють діюче значення напруги кожної фази із заданим значенням.

Технічний результат досягається тим, що спосіб підвищення коефіцієнту потужності передбачає (Фіг.1) регулювання значенням еквівалентної ємності шляхом частотно-імпульсної модуляції підключеного та відключеного стану конденсаторної батареї відносно мережі з урахуванням поточного відхилення коефіцієнту форми напруги та кута зрушення фази струму відносно заданих значень по кожній фазі мережі. В системі контролюється напруга та струм мережі та струм навантаження. Задають значення коефіцієнта потужності та коефіцієнта форми напруги за кожною фазою мережі. На основі отриманої інформації про поточні значення струму та напруги, визначається фазовий зсув та коефіцієнт форми напруги у фазах мережі. Поточне значення коефіцієнта потужності та коефіцієнта форми порівнюється з заданими максимальними значеннями. Розраховується відхилення кожного параметру від заданого значення. Змінюється частота модуляції підключеного та відключеного стану конденсаторної батареї. У разі перевищення поточного значення коефіцієнту потужності та коефіцієнту форми над заданими значеннями, системою керування видається повідомлення про неможливість компенсації реактивної потужності.

Спосіб пояснюється кресленнями, де на Фіг.1 представлено алгоритм керування режимами компенсації енергоспоживання електротехнічної установки з використанням керованих конденсаторів,

на Фіг.2 представлена блок-схема процесу регулювання напругою живлення,

на Фіг.3 представлена блок-схема процесу адаптивного налаштування регулятора. 1 - лінійне активне навантаження; 2 - нелінійне навантаження; 3 - світильники дросельного типу; 4 - компенсуючий пристрій; 5 - інші споживачі; 6 - силова схема; 7 - система керування.

Спосіб реалізується наступним чином.

Система електропостачання що розглядається (Фіг.2), має в своєму складі змінне джерело електричної енергії (або інше джерело) е.р.с. E_{ϕ} з активною та реактивно складовими внутрішнього опору $R_{вн}$ та $X_{вн}$, повна потужність якого співмірна з сумарною повною потужністю усіх споживачів S_{Σ} , підключених до точки загального приєднання (ТЗП). При цьому в системі в початковий момент роботи задаються діючі значення напруги кожної фази $U_{\phi A}^{зад}, U_{\phi B}^{зад}, U_{\phi C}^{зад}$, та діючі значення

струму $I_{\phi A}^{зад}, I_{\phi B}^{зад}, I_{\phi C}^{зад}$, значенням коефіцієнту потужності системи $\phi_A^{зад}, \phi_B^{зад}, \phi_C^{зад}$, та коефіцієнтом форми напруги $K_{\phi A}^{зад}, K_{\phi B}^{зад}, K_{\phi C}^{зад}$. В системі мережі в точці підключення, вимірюється напруга в кожній фазі U_A, U_B, U_C та струми мережі I_A, I_B, I_C та навантаження $I_{\phi A}, I_{\phi B}, I_{\phi C}$. Розраховується струм системи компенсації $I_{\phi A}, I_{\phi B}, I_{\phi C}$. Вимірювання проводиться дискретно в i -й момент з часом дискретизації T_d , який обирається з діапазону 1...100мкс. Час вимірювань T обирається рівним 0,02с. В результаті вимірювань отримують масив із N значень за кожним параметром з кутовим кроком $p = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot T_d$

Для знаходження кута зсуву струму від напруги по кожній фазі, на підставі отриманих значень напруги U_{Ai}, U_{Bi}, U_{Ci} та струму I_{Ai}, I_{Bi}, I_{Ci} мережі по кожній фазі, визначаються гармонійні складові вказаних параметрів. Розраховуються на підставі розкладання в ряд Фур'є наступні параметри:

- постійні складові напруги та струму (середнє значення) по кожній фазі:

$$AU_{A0} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Ai}, \quad AI_{A0} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Ai} \quad (1)$$

$$AU_{B0} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Bi}, \quad AI_{B0} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Bi} \quad (2)$$

$$AU_{C0} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Ci}, \quad AI_{C0} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Ci} \quad (3)$$

- синусні складові напруги та струму по кожній фазі:

$$AU_{Ak} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Ai} \cdot \sin(k \cdot i \cdot p); \quad AI_{Ak} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Ai} \cdot \sin(k \cdot i \cdot p) \quad (4)$$

$$AU_{Bk} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Bi} \cdot \sin(k \cdot i \cdot p); \quad AI_{Bk} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Bi} \cdot \sin(k \cdot i \cdot p) \quad (5)$$

$$AU_{Ck} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Ci} \cdot \sin(k \cdot i \cdot p); \quad AI_{Ck} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Ci} \cdot \sin(k \cdot i \cdot p) \quad (6)$$

- косинусні складові напруги та струму по кожній фазі:

$$BU_{Ak} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Ai} \cdot \cos(k \cdot i \cdot p); \quad BI_{Ak} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Ai} \cdot \cos(k \cdot i \cdot p) \quad (7)$$

$$BU_{Bk} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Bi} \cdot \cos(k \cdot i \cdot p); \quad BI_{Bk} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Bi} \cdot \cos(k \cdot i \cdot p) \quad (8)$$

$$BU_{Ck} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N U_{Ci} \cdot \cos(k \cdot i \cdot p); \quad BI_{Ck} = \frac{2}{N} \cdot \sum_{i=0}^N I_{Ci} \cdot \cos(k \cdot i \cdot p) \quad (9)$$

Із отриманих складових значень напруги та струму знаходиться амплітуди напруги $MU_{Ak}, MU_{Bk}, MU_{Ck}$ та струму $MI_{Ak}, MI_{Bk}, MI_{Ck}$ k -ї гармоніки по кожній фазі:

$$MU_{Ak} = |AU_{Ak} + j \cdot BU_{Ak}|; \quad MI_{Ak} = |AI_{Ak} + j \cdot BI_{Ak}| \quad (10)$$

$$MU_{Bk} = |AU_{Bk} + j \cdot BU_{Bk}|; \quad MI_{Bk} = |AI_{Bk} + j \cdot BI_{Bk}| \quad (11)$$

$$MU_{Ck} = |AU_{Ck} + j \cdot BU_{Ck}|; \quad MI_{Ck} = |AI_{Ck} + j \cdot BI_{Ck}| \quad (12)$$

та фазовий кут напруги $\phi U_{Ak}, \phi U_{Bk}, \phi U_{Ck}$ та струму $\phi I_{Ak}, \phi I_{Bk}, \phi I_{Ck}$ k -ї гармоніки по кожній фазі:

$$\phi U_{Ak} = \arg[AU_{Ak} + j \cdot BU_{Ak}]; \quad \phi I_{Ak} = \arg[AI_{Ak} + j \cdot BI_{Ak}] \quad (13)$$

$$\phi U_{Bk} = \arg[AU_{Bk} + j \cdot BU_{Bk}]; \quad \phi I_{Bk} = \arg[AI_{Bk} + j \cdot BI_{Bk}] \quad (14)$$

$$\phi U_{Ck} = \arg[AU_{Ck} + j \cdot BU_{Ck}]; \quad \phi I_{Ck} = \arg[AI_{Ck} + j \cdot BI_{Ck}] \quad (15)$$

Із отриманих складових значень фазового кута напруги першої гармоніки $\phi U_{A1}, \phi U_{B1}, \phi U_{C1}$ по кожній фазі та фазового кута струму першої гармоніки $\phi I_{A1}, \phi I_{B1}, \phi I_{C1}$ по кожній фазі знаходиться різниця між заданим значенням коефіцієнту потужності та поточним значенням коефіцієнту потужності по кожній фазі:

$$\Delta \phi_A = \phi_A^{зад} - (\phi U_{A1} - \phi I_{A1}) \quad (16)$$

$$\Delta \phi_B = \phi_B^{зад} - (\phi U_{B1} - \phi I_{B1}) \quad (17)$$

$$\Delta \phi_C = \phi_C^{зад} - (\phi U_{C1} - \phi I_{C1}) \quad (18)$$

Розраховуються поточні значення коефіцієнта форми напруги - величина рівна відношенню діючого значення напруги $U_{\phi A}, U_{\phi B}, U_{\phi C}$ до його середнього значення U_{cA}, U_{cB}, U_{cC} по кожній фазі:

$$K_{\phi A} = \frac{U_{\phi A}}{U_{cA}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N U_{Ai}^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N U_{Ai}} \quad (19)$$

$$K_{\phi B} = \frac{U_{\phi B}}{U_{cB}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N U_{Bi}^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N U_{Bi}} \quad (20)$$

$$K_{\phi C} = \frac{U_{\phi C}}{U_{cC}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N U_{Ci}^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N U_{Ci}} \quad (21)$$

Розраховані значення коефіцієнту форми напруги порівнюються із заданими значеннями по кожній фазі:

$$\Delta K_{\phi A} = K_{\phi A}^{\text{зад}} - K_{\phi A} \quad (22)$$

$$\Delta K_{\phi B} = K_{\phi B}^{\text{зад}} - K_{\phi B} \quad (23)$$

$$\Delta K_{\phi C} = K_{\phi C}^{\text{зад}} - K_{\phi C} \quad (24)$$

На підставі результату порівняння змінюється частота модуляції підключення та відключення стану конденсаторної батареї за відповідною фазою.

Розраховується відхилення напруги $\Delta U_{\phi A}, \Delta U_{\phi B}, \Delta U_{\phi C}$ по кожній фазі:

$$\Delta U_{\phi A} = U_{\phi A}^{\text{зад}} - U_{\phi A} \quad (25)$$

$$\Delta U_{\phi B} = U_{\phi B}^{\text{зад}} - U_{\phi B} \quad (26)$$

$$\Delta U_{\phi C} = U_{\phi C}^{\text{зад}} - U_{\phi C} \quad (27)$$

Якщо модуль поточного діючого значення напруги не відповідає вимозі $|\Delta U_{\phi A}| < 0,1 \cdot U_{\phi A}^{\text{зад}}$, або $|\Delta U_{\phi B}| < 0,1 \cdot U_{\phi B}^{\text{зад}}$, або $|\Delta U_{\phi C}| < 0,1 \cdot U_{\phi C}^{\text{зад}}$ відбувається відключення системи компенсації та видача попереджувального сигналу.

Споживачі представлені на Фіг.2, Фіг.3 (стрілки відображають напрямок передачі потужності):

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\text{сум}}}{U_M} = \frac{\sqrt{(P_L + P_H + P_C + P_K + P_i)^2 + (Q_H + Q_C + Q_i)^2 + (D_H + D_i)^2}}{U_M} \quad (28)$$

$$\Delta P = I_{\Sigma}^2 \cdot (R_{\text{BH}} + R_{\text{BH}}) = (R_{\text{BH}} + R_{\text{BH}}) \times \left[\frac{(P_L + P_H + P_C + P_K + P_i)^2 + (Q_H + Q_C + Q_i)^2 + (D_H + D_i)^2}{U_M^2} \right] \quad (29)$$

За умов використання способу сумарний струм, що споживається I_{Σ} та втрати активної ΔP потужності в точці загального приєднання при роботі усіх споживачів при умові, що джерело вторинного електропостачання з компенсацією спо-

- лінійним навантаженням, що споживає активну P_L потужність;

- нелінійним навантаженням, що споживає активну P_H , реактивну Q_H , потужність спотворення D_H ;

- світильники дросельного типу, що споживають активну P_C реактивну Q_C потужності;

- компенсуючим пристроєм - джерелом вторинного електропостачання з компенсацією спотворень в живлячій мережі, що споживає активну P_K , реактивну Q_K , потужність спотворення D_K ;

- іншими споживачами, що споживають в загальному випадку активну P_i , реактивну Q_i , потужність спотворення D_i ;

- U_M - вхідна напруга мережі;

Застосування способу призводить до зміни режиму роботи електроенергетичної системи (Фіг 3). Сумарний струм, що споживається системою I_{Σ} у та втрати активної ΔP потужності в точці загального приєднання при роботі усіх споживачів при умові, що існує джерело вторинного електропостачання з компенсацією спотворень в живлячій мережі споживає тільки активну потужність, тобто $Q_K = 0$ і $D_K = 0$:

творень в трьохфазній мережі змінного струму споживає активну потужність, а в мережу генерується реактивна потужність $Q_K < 0$ та потужність спотворень $D_K < 0$, отримуємо:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\text{сум}}}{U_M} = \frac{\sqrt{(P_L + P_H + P_C + P_K + P_i)^2 + (Q_H + Q_C - Q_K + Q_i)^2 + (D_H - D_K + D_i)^2}}{U_M} \quad (30)$$

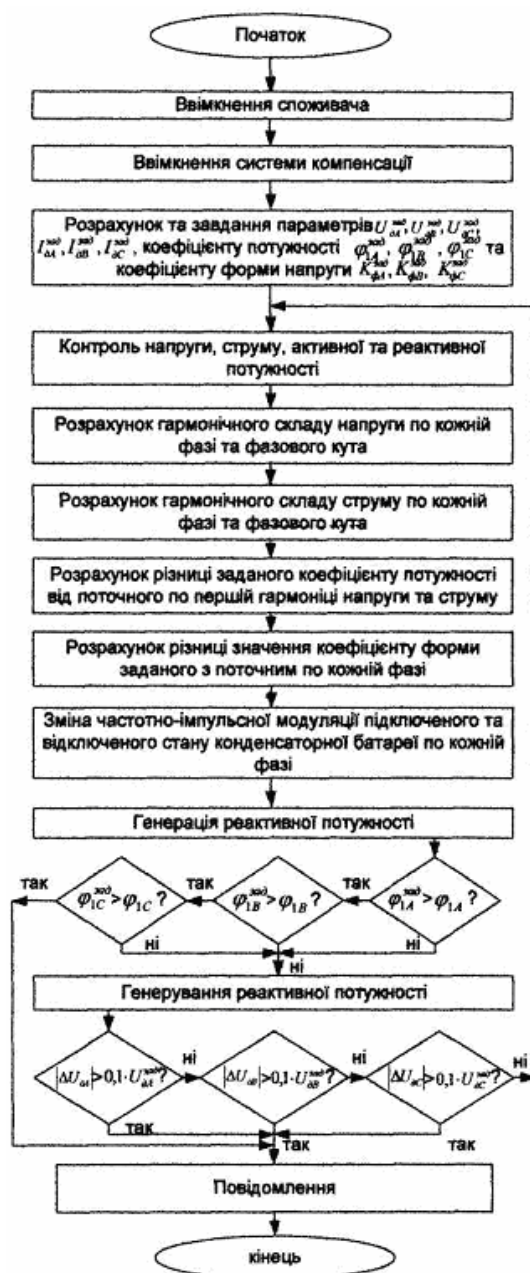
$$\Delta P = I_{\Sigma}^2 \cdot (R_{\text{BH}} + R_{\text{BH}}) = (R_{\text{BH}} + R_{\text{BH}}) \times \left[\frac{(P_L + P_H + P_C + P_K + P_i)^2 + (Q_H + Q_C - Q_K + Q_i)^2 + (D_H - D_K + D_i)^2}{U_M^2} \right] \quad (31)$$

Таким чином із виразів (28) і (30) випливає, в результаті роботи системи підвищення коефіцієнту потужності та коефіцієнту форми напруги система компенсує реактивну потужність та потужність спотворення та забезпечити позитивний ефект:

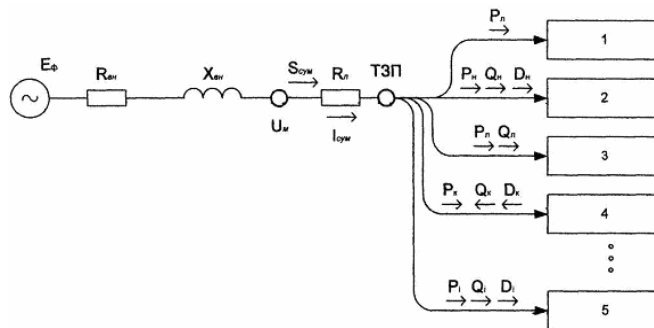
- зменшити втрати активної потужності в системі електропостачання: $P_K < P_a$;

- провести компенсацію неактивної (реактивної) потужності та потужності спотворень) складової повної потужності;

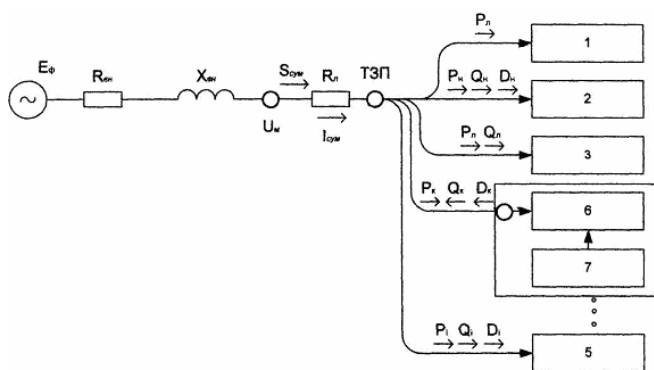
- поліпшити показники якості електроенергії, в частині коефіцієнта форми напруги.



Фіг. 1



Фіг. 2



Фіг. 3