

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **224295**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **405161**

(51) Int.Cl.
H02J 3/18 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **29.08.2013**

(54)

Układ kompensatora aktywnego mocy biernej

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

02.03.2015 BUP 05/15

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

30.12.2016 WUP 12/16

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT TECHNIK INNOWACYJNYCH
EMAG, Katowice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MARIAN KALUS, Kalety, PL
JULIAN WOSIK, Katowice, PL
BOGDAN MIEDZIŃSKI, Wrocław, PL
ARTUR KOZŁOWSKI, Wojkowice Kościelne, PL
ZBIGNIEW HANZELKA, Kraków, PL
ANDRZEJ FIRLIT, Kraków, PL**

PL 224295 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ kompensatora aktywnego mocy biernej do płynnej stabilizacji współczynnika mocy, zwłaszcza dla obwodów z odbiornikami o silnie nieliniowym charakterze obciążenia.

Znane są dotychczas układy trójfazowych, trójprzewodowych, równoległych energetycznych kompensatorów aktywnych mocy biernej, sterowane według algorytmu, wynikającego z opracowanej w dziedzinie czasu teorii mocy p-q. Wadą rozpatrywanego układu jest to, iż w przypadku silnie zniekształconych napięć fazowych w obwodzie sieci zasilającej, składowe aktywne prądu, związane z tradycyjnie definiowaną mocą czynną, a wykorzystane w układzie sterowania rozpatrywanego kompensatora aktywnego mocy biernej, jako sygnały referencyjne, są silnie zniekształcone, o wysokiej zawartości wyższych harmonicznych prądu.

Znane są również układy trójfazowych, trójprzewodowych równoległych energetycznych kompensatorów aktywnych mocy biernej, sterowane według algorytmu, wynikającego z opracowanej w dziedzinie częstotliwości, teorii składowych fizycznych prądu. Wadą tego układu jest to, iż w przypadku zniekształconych napięć w obwodzie sieci zasilającej, składowe aktywne prądu, wykorzystane w układzie sterowania przedmiotowego kompensatora aktywnego, jako sygnały referencyjne, są również zniekształcone, proporcjonalnie do stopnia zniekształcenia napięć fazowych w obwodzie sieci zasilającej.

Celem wynalazku jest wyeliminowanie tych wad w układzie sterowania równoległym, energetycznym kompensatorem aktywnym mocy biernej, bazującym na teorii składowych fizycznych prądu, poprzez zastosowanie na wejściu układu obliczania składowych aktywnych prądu, filtrów pasmowo-przepustowych w celu wyłonienia harmonicznych 1-go rzędu napięć fazowych sieci zasilającej oraz ich uśrednienia.

W układzie kompensatora aktywnego mocy biernej, zawierającym falownik prądowy, połączony z regulatorami prądu i siecią zasilającą, wyjścia sygnałowe czujników pomiarowych napięć fazowych połączono z wejściami napięciowymi czujnika pomiaru mocy czynnej oraz wejściami sygnałowymi kolejno: filtru pasmowo-przepustowego w obwodzie fazy a, filtru pasmowo-przepustowego w obwodzie fazy b i filtru pasmowo-przepustowego w obwodzie fazy c. Wyjścia sygnałowe czujników pomiarowych prądów fazowych, połączone są z wejściami prądowymi czujnika pomiaru mocy czynnej oraz kolejno z wejściami pomiarowymi regulatorów prądu: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, natomiast wyjścia sygnałowe filtrów pasmowo-przepustowych: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, połączono odpowiednio z wejściami sygnałowymi układów pomiaru amplitudy: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c oraz odpowiednio z pierwszymi wejściami sygnałowymi układów mnożących: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c. Wyjścia sygnałowe układów pomiarowych amplitudy: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, połączono z wejściami sumacyjnymi, trójwejściowego układu sumatora, a także kolejno z wejściami sygnałowymi dzielnika, układów dzielących: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c. Wyjście sygnałowe, trójwejściowego układu sumatora, połączone jest z wejściem sygnałowym układu wzmacnienia proporcjonalnego, zaś wyjście sygnałowe układu wzmacnienia proporcjonalnego, połączone jest kolejno z wejściami sygnałowymi dzielnej, układów dzielących: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, natomiast wyjścia sygnałowe układów dzielących: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, połączono odpowiednio z drugimi wejściami sygnałowymi układów mnożących: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c. Wyjścia sygnałowe układów mnożących: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, połączone są odpowiednio z wejściami sygnałowymi układów funkcji kwadratowej: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c oraz odpowiednio z pierwszymi wejściami sygnałowymi układów mnożących przy regulatorach prądu: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c. Wyjścia sygnałowe układów funkcji kwadratowej: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, połączono z wejściami sumacyjnymi, drugiego trójwejściowego układu sumatora, odpowiednio poprzez filtry dolnoprzepustowe: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, natomiast wyjście sygnałowe drugiego trójwejściowego układu sumatora, połączone jest z wejściem sygnałowym dzielnika czwartego układu dzielącego, zaś wyjście sygnałowe czujnika pomiarowego mocy czynnej, połączone jest z wejściem sygnałowym dzielnej czwartego układu dzielącego. Wyjście sygnałowe czwartego układu dzielącego, połączono z drugimi wejściami sygnałowymi układów mnożących, przy regulatorach

prądu: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, zaś wyjścia sygnałowe układów mnożących przy regulatorach prądu: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, połączono odpowiednio z wejściami zadającymi regulatorów prądu: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c. Wyjścia sygnałowe regulatorów prądu: w obwodzie fazy a, w obwodzie fazy b i w obwodzie fazy c, połączono z wejściami sterującymi układu sterowania falownika prądowego, zaś trójfazowe, trójprzewodowe wyjście silnopiętrowe falownika prądowego połączone jest z trójfazowym, trójprzewodowym odbiornikiem nieliniowym, kolejno poprzez silnopiętrowe tory czujników pomiarowych prądów fazowych: w gałęzi fazy a, w gałęzi fazy b i w gałęzi fazy c oraz kolejno z obwodami faz: a, b i c sieci zasilającej.

Układ kompensatora aktywnego mocy biernej według wynalazku, dzięki zastosowaniu na wejściu układu obliczania składowej aktywnej referencyjnej prądu, filtrów pasmowo-przepustowych, w celu wyłonienia harmonicznyc 1-go rzędu napięć fazowych sieci zasilającej i ich uśrednieniu, pozwala idealnie skompensować moc bierną, natomiast składowe prądu w obwodzie sieci zasilającej, po przeprowadzonej kompensacji są idealnie symetryczne, a kształtem przypominają prawie idealne sinusoidy o praktycznie zerowej zawartości wyższych harmonicznyc prądu.

Przedmiot wynalazku jest pokazany w przykładzie wykonania na rysunku, który przedstawia schemat blokowy układu.

W układzie zaprezentowano sterowanie trójfazowym, trójprzewodowym, równoległym, energetycznym aktywnym kompensatorem mocy biernej. Przedstawione sterowanie bazuje na teorii składowyc fizycznych prądu, z tą jednak różnicą, iż w procesie generowania składowyc prądu (będącyc składowyc referencyjnyc), nie uczestniczą napięcia fazowe sieci zasilającej, lecz ich uśrednione harmoniczne 1-go rzędu.

W układzie wg wynalazku sieć zasilająca **1** jest połączona z nieliniowym trójfazowym, trójprzewodowym odbiornikiem **2**, poprzez obwody silnopiętrowe czujników pomiarowych prądów fazowych **3**, **4**, **5**. Pomiar rzeczywistej wartości mocy czynnej P , dokonywany jest w czujniku pomiaru mocy czynnej **6**. Wymieniony czujnik pomiaru mocy czynnej **6**, współpracuje z wyjściami sygnałowyc: czujników pomiarowych prądów fazowych **3**, **4**, **5** i czujników pomiarowych **7**, **8**, **9** napięć fazowych. Obwody silnopiętrowe czujników pomiarowych **7**, **8**, **9** napięć fazowych współpracują z układem sztucznego zera **10**.

W układzie sterowania według wynalazku, wyjścia sygnałowe czujników pomiarowych **7**, **8**, **9** napięć fazowych współpracują ponadto kolejno z wejściami sygnałowyc filtrów pasmowo-przepustowych: **11** w obwodzie fazy a, **12** w obwodzie fazy b, **13** w obwodzie fazy c. Uzyskane sygnały na wyjściami filtrów pasmowo-przepustowych **11**, **12**, **13**, są proporcjonalne do składowyc harmonicznyc 1-go rzędu: u_{ahl} , u_{bhl} , u_{chl} , napięć fazowych: u_a , u_b , u_c . Na wyjściami sygnałowyc układów pomiaru amplitudy **14**, **15**, **16**, uzyskuje się sygnały proporcjonalne do wartości amplitud: U_{ahl} , U_{bhl} , U_{chl} , składowyc harmonicznyc 1-go rzędu: u_{ahl} , u_{bhl} , u_{chl} . Po zsumowaniu sygnałów amplitudowyc U_{ahl} , U_{bhl} , U_{chl} w układzie trójwejściowego sumatora **17** i przeprowadzeniu operacji dzielenia przez wartość **3** w układzie wzmacnienia proporcjonalnego **18** (wzmocnienie o wartości rzędu 0.33333 jest tożsame z przeprowadzeniem operacji dzielenia przez wartość 3), uzyskuje się wartość średnią amplitudy napięcia U_{AV} , którą opisuje następująca zależność:

$$U_{AV} = \frac{U_{ahl} + U_{bhl} + U_{chl}}{3}$$

Układy dzielące **19**, **20**, **21** kolejno generują współczynniki korekcji, opisane przez następujące zależności:

$$K_{Uahl} = \frac{U_{AV}}{U_{ahl}}$$

$$K_{Ubhl} = \frac{U_{AV}}{U_{bhl}}$$

$$K_{Uchl} = \frac{U_{AV}}{U_{chl}}$$

Po wymnożeniu w układach mnożarek **22**, **23**, **24** składowyc harmonicznyc 1-go rzędu: u_{ahl} , u_{bhl} , u_{chl} , napięć fazowych, kolejno przez poszczególne współczynniki korekcji K_{Uahl} , K_{Ubhl} , K_{Uchl} , uzy-

skano uśrednione chwilowe wartości harmonicznych 1-go rzędu, napięć fazowych sieci zasilającej, co przedstawiono w formie następujących zależności:

$$u_{AVahI} = u_{ahI} \cdot K_{UahI}$$

$$u_{AVbhI} = u_{bhI} \cdot K_{UbhI}$$

$$u_{AVchI} = u_{chI} \cdot K_{UchI}$$

Układ funkcji kwadratowej **25** wraz z filtrem dolnoprzepustowym **26** obliczają kwadrat wartości skutecznej napięcia, uśrednionej harmonicznej 1-go rzędu w obwodzie fazy a, co określa następujące równanie:

$$\|u_{AVahI}\|^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u_{AVahI}^2 dt$$

Podobnie układ funkcji kwadratowej **27** wraz z filtrem dolnoprzepustowym **28** obliczają kwadrat wartości skutecznej napięcia, uśrednionej harmonicznej 1-go rzędu w obwodzie fazy b, co ujęto w formie następującego równania:

$$\|u_{AVbhI}\|^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u_{AVbhI}^2 dt$$

I wreszcie układ funkcji kwadratowej **29** wraz z filtrem dolnoprzepustowym **30** obliczają kwadrat wartości skutecznej napięcia, uśrednionej harmonicznej 1-go rzędu w obwodzie fazy c, co ujęto w formie następującej zależności:

$$\|u_{AVchI}\|^2 = \frac{1}{T} \int_0^T u_{AVchI}^2 dt$$

gdzie: T – oznacza okres napięć fazowych sieci zasilającej.

Po przeprowadzeniu operacji sumowania w układzie trójwejscowego sumatora **31**, kwadratów wartości skutecznych napięć, z uśrednionych harmonicznych 1-go rzędu, dla poszczególnych obwodów fazowych sieci zasilającej, uzyskano, co następuje:

$$\|u_{AVhI}\|^2 = \|u_{AVahI}\|^2 + \|u_{AVbhI}\|^2 + \|u_{AVchI}\|^2$$

Układ dzielący **32** realizuje zależność postaci:

$$G_{ehI} = \frac{P}{\|u_{AVhI}\|^2}$$

gdzie G_{ehI} – oznacza konduktancję fazową rezystancyjnego, symetrycznego, trójfazowego odbiornika, który jest równoważny oryginalnemu ze względu na wartość dostarczonej do niego mocy czynnej P , przy uśrednionych harmonicznych 1-go rzędu, napięć fazowych: u_{AVahI} , u_{AVbhI} , u_{AVchI} . Prądy aktywne, pozwalające na dostarczenie mocy czynnej P do odbiornika trójfazowego, trójprzewodowego nieliniowego **2**, dla uśrednionych harmonicznych 1-go rzędu napięć fazowych, będą obliczane według następujących zależności:

- Obwód fazy a (obliczanie prądu aktywnego referencyjnego jest realizowane w układzie mnożącym **33** przy regulatorze prądu):

$$i_{refaahI} = G_{ehI} \cdot u_{AVahI}$$

- Obwód fazy b (obliczanie prądu aktywnego referencyjnego jest realizowane w układzie mnożącym **34** przy regulatorze prądu):

$$i_{refabhI} = G_{ehI} \cdot u_{AVbhI}$$

- Obwód fazy c (obliczanie prądu aktywnego referencyjnego jest realizowane w układzie mnożącym **35** przy regulatorze prądu):

$$i_{refachl} = G_{ehl} \cdot u_{AVchl}$$

W celu wygenerowania prądów dodawczych i_{doda} , i_{dodb} , i_{dodc} , które po zsumowaniu w węzłach prądowych z prądami obciążenia i_{oa} , i_{ob} , i_{oc} , trójfazowego, trójprzewodowego odbiornika nieliniowego **2**, pozwolą uzyskać prądy sinusoidalne symetryczne, idealnie skompensowane, o bardzo niskiej zawartości wyższych harmonicznych – w układzie sterowania według wynalazku zastosowano 3 regulatory prądu, kolejno w obwodzie każdej fazy sieci zasilającej: regulator prądu **36** w obwodzie fazy a, regulator prądu **37** w obwodzie fazy b i regulator prądu **38** w obwodzie fazy c. Uzyskane na wyjściu regulatorów prądu **36**, **37**, **38** sygnały sterujące, generują w części silnoprądowej, na wyjściu falownika prądowego **39**, prądy dodawcze i_{doda} , i_{dodb} , i_{dodc} o takim przebiegu, aby zostały spełnione następujące zależności:

$$i_{apk} = i_{oa} + i_{doda}$$

$$i_{bpk} = i_{ob} + i_{dodb}$$

$$i_{cpk} = i_{oc} + i_{dodc}$$

przy czym:

$$i_{apk} \equiv i_{refahl}$$

$$i_{bpk} \equiv i_{refabh}$$

$$i_{cpk} \equiv i_{refachl}$$

gdzie: i_{apk} , i_{bpk} , i_{cpk} są prądami w obwodach fazowych sieci zasilającej, po przeprowadzonej kompensacji aktywnej.

Zastrzeżenie patentowe

Układ kompensatora aktywnego mocy biernej, zawierający falownik prądowy, regulatory prądu i sieć zasilającą, **znamienny tym**, że wyjścia sygnałowe czujników pomiarowych napięć fazowych (**7**, **8**, **9**), połączono z wejściami napięciowymi czujnika pomiaru mocy czynnej (**6**) oraz wejściami sygnałowymi kolejno: filtru pasmowo-przepustowego (**11**) w obwodzie fazy a, filtru pasmowo-przepustowego (**12**) w obwodzie fazy b i filtru pasmowo-przepustowego (**13**) w obwodzie fazy c, z kolei wyjścia sygnałowe czujników pomiarowych prądów fazowych (**3**, **4**, **5**) połączone są z wejściami prądowymi czujnika pomiaru mocy czynnej (**6**) oraz kolejno z wejściami pomiarowymi regulatorów prądu: (**36**) w obwodzie fazy a, (**37**) w obwodzie fazy b i (**38**) w obwodzie fazy c, natomiast wyjścia sygnałowe filtrów pasmowo-przepustowych: (**11**) w obwodzie fazy a, (**12**) w obwodzie fazy b i (**13**) w obwodzie fazy c, połączono odpowiednio z wejściami sygnałowymi układów pomiaru amplitudy: (**14**) w obwodzie fazy a, (**15**) w obwodzie fazy b i (**16**) w obwodzie fazy c oraz z pierwszymi wejściami sygnałowymi układów mnożących: (**22**) w obwodzie fazy a, (**23**) w obwodzie fazy b i (**24**) w obwodzie fazy c, zaś wyjścia sygnałowe układów pomiarowych amplitudy: (**14**) w obwodzie fazy a, (**15**) w obwodzie fazy b i (**16**) w obwodzie fazy c, połączono z wejściami sumacyjnymi, trójwejściowego układu sumatora (**17**), a także odpowiednio z wejściami sygnałowymi dzielnika, układów dzielących: (**19**) w obwodzie fazy a, (**20**) w obwodzie fazy b i (**21**) w obwodzie fazy c, z kolei wyjście sygnałowe, trójwejściowego układu sumatora (**17**), połączone jest z wejściem sygnałowym układu wzmacnienia proporcjonalnego (**18**), zaś wyjście sygnałowe układu wzmacnienia proporcjonalnego (**18**), połączone jest kolejno z wejściami sygnałowymi dzielnej, układów dzielących: (**19**) w obwodzie fazy a, (**20**) w obwodzie fazy b i (**21**) w obwodzie fazy c, natomiast wyjścia sygnałowe układów dzielących: (**19**) w obwodzie fazy a, (**20**) w obwodzie fazy b i (**21**) w obwodzie fazy c połączono z drugimi wejściami sygnałowymi układów mnożących: (**22**) w obwodzie fazy a, (**23**) w obwodzie fazy b i (**24**) w obwodzie fazy c, z kolei wyjścia sygnałowe układów mnożących: (**22**) w obwodzie fazy a, (**23**) w obwodzie fazy b i (**24**) w obwodzie fazy c, połączone są odpowiednio z wejściami sygnałowymi układów funkcji kwadratowej: (**25**) w obwodzie fazy a, (**27**) w obwodzie fazy b i (**29**) w obwo-

dzie fazy c oraz odpowiednio z pierwszymi wejściami sygnałowymi układów mnożących przy regulatorach prądu: (33) w obwodzie fazy a, (34) w obwodzie fazy b i (35) w obwodzie fazy c, zaś wyjścia sygnałowe układów funkcji kwadratowej: (25) w obwodzie fazy a, (27) w obwodzie fazy b i (29) w obwodzie fazy c, połączono z wejściami sumacyjnymi, drugiego trójwejściowego układu sumatora (31), kolejno poprzez filtry dolnoprzepustowe: (26) w obwodzie fazy a, (28) w obwodzie fazy b i (30) w obwodzie fazy c, natomiast wyjście sygnałowe drugiego trójwejściowego układu sumatora (31), połączone jest z wejściem sygnałowym dzielnika czwartego układu dzielącego (32), zaś wyjście sygnałowe czujnika pomiarowego mocy czynnej (6), połączone jest z wejściem sygnałowym dzielnej czwartego układu dzielącego (32), z kolei wyjście sygnałowe czwartego układu dzielącego (32), połączono z drugimi wejściami sygnałowymi układów mnożących, przy regulatorach prądu: (33) w obwodzie fazy a, (34) w obwodzie fazy b i (35) w obwodzie fazy c, zaś wyjścia sygnałowe układów mnożących przy regulatorach prądu: (33) w obwodzie fazy a, (34) w obwodzie fazy b i (35) w obwodzie fazy c, połączono odpowiednio z wejściami zadającymi regulatorów prądu: (36) w obwodzie fazy a, (37) w obwodzie fazy b i (38) w obwodzie fazy c, natomiast wyjścia sygnałowe regulatorów prądu: (36) w obwodzie fazy a, (37) w obwodzie fazy b i (38) w obwodzie fazy c, połączono z wejściami sterującymi układu sterowania falownika prądowego (39), zaś trójfazowe, trójprzewodowe wyjście silnoprądowe, falownika prądowego (39), połączone jest z trójfazowym, trójprzewodowym odbiornikiem nieliniowym (2), kolejno poprzez silnoprądowe tory czujników pomiarowych prądów fazowych: (3) w gałęzi fazy a, (4) w gałęzi fazy b i (5) w gałęzi fazy c oraz kolejno z obwodami faz: a, b i c sieci zasilającej (1).

Rysunek



