

Układ, sposób oraz produkt komputerowy do rezonansowej kompensacji pulsacji prądu,
zwłaszcza elektrochemicznych magazynów energii

Przedmiotem wynalazku jest układ, sposób oraz produkt komputerowy do rezonansowej
5 kompensacji pulsacji prądu, zwłaszcza elektrochemicznych magazynów energii, który pozwala na
ograniczenie amplitudy składowej przemiennej prądu ładowania lub rozładowania magazynu energii
a przez co obniżenie strat mocy i wydłużenie żywotności elektrochemicznych magazynów energii.

Dotychczas znane są z literatury układy rezonansowe, przetwornice DC/DC oraz mostki
tranzystorowe w układzie H.

10 Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego US5990661A układ z półmostkiem oraz elementami
rezonansowymi wywołujący prąd rezonansowy celem podgrzewania baterii.

Znany jest również z dokumentu patentowego US9214706B2 układ wykorzystujący elementy
rezonansowe oraz różnicę potencjałów pomiędzy poszczególnymi celami elektrochemicznego
magazynu energii w celach podgrzewania magazynu oraz wyrównywania potencjałów pomiędzy celami.

15 Najbliższym technicznie rozwiązaniem jest układ z rezonansową przetwornicą o zdolności
samowzbudzenia służącą do podgrzewania magazynu energii przy niskich temperaturach otoczenia,
opisany w dokumencie patentowym US9083065B2.

Celem wynalazku jest kompensacja pulsacji prądu pojawiającej się na zaciskach magazynu
20 energii, szczególnie szkodliwej dla elektrochemicznych magazynów energii.

Istotą układu do rezonansowej kompensacji pulsacji prądu elektrochemicznych, zwłaszcza
magazynów energii, w skład którego wchodzi: magazyn energii, układ pomiaru prądu, kondensator
rezonansowy, cewka rezonansowa, mostek tranzystorowy w układzie H, izolowana galwanicznie
25 przetwornica DC/DC oraz kondensator szyny DC **jest to, że** pierwszy terminal przyłączeniowy
połączony jest do bieguna dodatniego magazynu energii, poprzez kondensator rezonansowy do
pierwszego z wyjść mostka H oraz do pierwszego wejścia przetwornicy DC/DC, zaś drugi terminal
przyłączeniowy połączony jest do bieguna ujemnego magazynu energii, poprzez cewkę rezonansową
do drugiego wyjścia mostka H oraz do drugiego wejścia przetwornicy DC/DC. Dodatkowo, pomiędzy
30 terminalem drugim a cewką rezonansową znajduje się układ pomiaru prądu. Wejścia mostka H
połączone są z wyjściami przetwornicy DC/DC, do których równolegle dołączony jest kondensator.
Do wejścia sterującego mostka H, wejścia sterującego przetwornicy DC/DC oraz wyjścia układu
pomiaru prądu dołączony jest układ sterujący.

Korzystnie jest, gdy pomiędzy drugi węzeł a cewkę rezonansową podłączony jest układ pomiaru
35 prądu obwodu rezonansowego.

Opcjonalnie układ pomiaru prądu obwodu rezonansowego jest podłączony pomiędzy magazyn
energii i drugi węzeł obwodu.

Istotą sposobu rezonansowej kompensacji pulsacji prądu, zwłaszcza elektrochemicznych magazynów energii w pierwszej odmianie **jest to, że** mierzy się za pomocą układu do pomiaru prądu i wejścia pomiarowego układu do pomiaru prądu amplitudę pulsacji prądu układu z magazynem energii. Jednocześnie oblicza się z wykorzystaniem amplitudy pulsacji prądu układu sygnał referencyjny dla izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC oraz sygnały sterujące dla mostka tranzystorowego w układzie H. Następnie przesyła się sygnały sterujące z pierwszego wyjścia układu sterowania do wejścia sterującego mostka tranzystorowego w układzie H. Jednocześnie przesyła się sygnał referencyjny z drugiego wyjścia układu sterowania do wejścia sterującego izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC, przez co wzbudza się obwód rezonansowy cewki rezonansowej i kondensatora rezonansowego tłumiąc amplitudę pulsacji prądu magazynu energii.

Istotą sposobu rezonansowej kompensacji pulsacji prądu, zwłaszcza elektrochemicznych magazynów energii w drugiej odmianie **jest to, że** mierzy się za pomocą układu pomiaru prądu obwodu rezonansowego i wejścia pomiarowego układu do pomiaru prądu amplitudę pulsacji prądu rezonansowego, pomiędzy drugim węzłem a cewką rezonansową. Następnie przekazuje się tą informację do układu sterowania, w którym oblicza się sygnał referencyjny dla izolowanej galwanicznie przetwornicy. Sygnały sterujące koryguje się za pomocą amplitudy pulsacji prądu rezonansowego pochodzącego od układu pomiaru prądu.

Istotą sposobu rezonansowej kompensacji pulsacji prądu, zwłaszcza elektrochemicznych magazynów energii w trzeciej odmianie **jest to, że** mierzy się za pomocą układu pomiaru prądu obwodu rezonansowego i wejścia pomiarowego układu do pomiaru prądu amplitudę pulsacji prądu rezonansowego, pomiędzy drugim węzłem a magazynem energii. Następnie przekazuje się tą informację do układu sterowania, w którym oblicza się sygnał referencyjny dla izolowanej galwanicznie przetwornicy. Sygnały sterujące koryguje się za pomocą amplitudy pulsacji prądu rezonansowego pochodzącego od układu pomiaru prądu.

Korzystnie wykorzystuje się sygnał pochodzący od układu pomiaru prądu obwodu rezonansowego do wyznaczania sygnału referencyjnego dla przetwornicy DC/DC, niezależnie od sygnałów sterujących dla mostka tranzystorowego w układzie H.

Istotą produktu komputerowego do rezonansowej kompensacji pulsacji prądu, zwłaszcza elektrochemicznych magazynów energii, według wynalazku w pierwszej odmianie **jest to, że** zawiera oprogramowanie zawarte w układzie sterującym realizujące sposób, przy czym w produkcie tym sygnał, będący odczytem z wejścia pomiarowego układu sterującego skaluje się oraz filtruje, a następnie przesyła się do bloku synchronizacji, gdzie wyznacza się sygnał synchronizacji. Sygnał referencyjny składowej q przesyła się na blok skalowania, którego sygnał wyjściowy będący korektą sygnału synchronizacji przesyła się wraz z sygnałem synchronizacji do bloku generacji sygnałów sterujących, którego sygnały wyjściowe są sygnałami sterującymi dla mostka tranzystorowego w układzie H. Natomiast sygnał referencyjny składowej d przesyła się do bloku skalowania, którego sygnał wyjściowy jest sygnałem referencyjnym dla izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC.

Istotą produktu komputerowego do rezonansowej kompensacji pulsacji prądu, zwłaszcza elektrochemicznych magazynów energii, według wynalazku w drugiej odmianie **jest to, że** zawiera oprogramowanie zawarte w układzie sterującym realizujące sposób, przy czym w produkcie tym sygnał,

będący odczytem z wejścia pomiarowego układu sterującego skaluje się oraz filtruje się, a następnie przesyła się do bloku synchronizacji i obliczania składowych d q , gdzie wyznacza się: sygnał synchronizacji, składową d prądu magazynu energii oraz składową q prądu magazynu energii. Amplitudę pulsacji prądu obwodu rezonansowego będącą odczytem z drugiego wejścia pomiarowego układu sterującego skaluje się oraz filtruje się, a następnie na jej podstawie generuje się sygnał przesunięty o dziewięćdziesiąt stopni względem oryginału. Wychodzącą parę sygnałów: składową α prądu obwodu rezonansowego i składową β prądu obwodu rezonansowego wraz z sygnałem synchronizacji przesyła się do bloku transformaty sygnałów, w którym za pomocą transformaty Park przekształca się je. Sygnały wychodzące z tego bloku: składową d prądu obwodu rezonansowego oraz składową q prądu obwodu rezonansowego przesyła się odpowiednio na regulator składowej d oraz regulator składowej q . Do regulatora składowej d przesyła się jako sygnał referencyjny składową d prądu magazynu energii. Sygnał wyjściowy regulatora: sygnał referencyjny przekazuje się do izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC. Natomiast do regulatora składowej q przesyła się jako sygnał referencyjny składową q prądu magazynu energii. Sygnał wyjściowy regulatora: korektę sygnału synchronizacji wraz z sygnałem synchronizacji przesyła się do bloku generacji sygnałów sterujących, w którym na ich podstawie oblicza się sygnały sterujące a te z kolei przekazuje się do mostka tranzystorowego w układzie H.

Istotą produktu komputerowego do rezonansowej kompensacji pulsacji prądu, zwłaszcza elektrochemicznych magazynów energii, według wynalazku w trzeciej odmianie **jest to, że** zawiera oprogramowanie zawarte w układzie sterującym realizujące sposób, przy czym w produkcie tym sygnał, będący odczytem z wejścia pomiarowego układu sterującego skaluje się oraz filtruje się, a następnie przesyła się do bloku synchronizacji i obliczania składowych d q , gdzie wyznacza się: sygnał synchronizacji, składową d prądu magazynu energii oraz składową q prądu magazynu energii. Amplitudę pulsacji prądu obwodu rezonansowego będącą odczytem z drugiego wejścia pomiarowego układu sterującego skaluje się oraz filtruje się, a następnie na jej podstawie generuje się sygnał przesunięty o dziewięćdziesiąt stopni względem oryginału. Wychodzącą parę sygnałów: składową α prądu obwodu rezonansowego i składową β prądu obwodu rezonansowego wraz z sygnałem synchronizacji przesyła się do bloku transformaty sygnałów, w którym za pomocą transformaty Park przekształca się je. Sygnały wychodzące z tego bloku: składową d prądu obwodu rezonansowego oraz składową q prądu obwodu rezonansowego przesyła się odpowiednio na regulator składowej d oraz regulator składowej q . Do regulatora składowej d przesyła się jako sygnał referencyjny wartość „0”. Sygnał wyjściowy regulatora: sygnał referencyjny przekazuje się do izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC. Natomiast do regulatora składowej q przesyła się jako sygnał referencyjny wartość „0”. Sygnał wyjściowy regulatora: korektę sygnału synchronizacji wraz z sygnałem synchronizacji przesyła się do bloku generacji sygnałów sterujących, w którym na ich podstawie oblicza się sygnały sterujące a te z kolei przekazuje się do mostka tranzystorowego w układzie H.

Przedmiot wynalazku w przykładach wykonania został przedstawiony na rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają:

fig.1 – schemat układu w pierwszym przykładzie wykonania,

fig.2 – schemat układu w drugim przykładzie wykonania,

5 fig.3 – schemat układu w trzecim przykładzie wykonania,

fig.4 – wykres przebiegów prądu i sygnałów sterujących,

fig.5 – wykres przebiegów sygnałów sterujących mostka tranzystorowego w układzie H,

fig.6 – schemat blokowy produktu komputerowego w pierwszym przykładzie wykonania,

fig.7 – schemat blokowy produktu komputerowego w drugim i trzecim przykładzie wykonania.

10

Korzystnym skutkiem wynalazku jest to, że poprzez redukcję pulsującego prądu podczas ładowania lub rozładowywania magazynu energii poprawia się stabilność jego pracy. Dodatkowe korzyści ujawniają się w przypadku magazynów elektrochemicznych, gdzie redukcja pulsacji prądu pociąga za sobą redukcję przyrostu temperatury, tym samym wydłużając żywotność oraz poprawiając niezawodność magazynu energii.

15

Układ do rezonansowej kompensacji pulsacji prądu elektrochemicznych magazynów energii przedstawiony w pierwszym przykładzie wykonania na fig. 1 rysunku składał się z magazynu energii ME, układu pomiaru prądu CM, kondensatora rezonansowego C1, cewki rezonansowej L1, mostka tranzystorowego w układzie H M1, izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC P1, kondensatora szyny DC C2. Magazynem energii ME był magazyn o pojemności 10 kWh, wykonany w technologii litowo-jonowej o napięciu znamionowym 60 V firmy BMZ Poland. Układ pomiaru prądu CM zrealizowano za pomocą przetwornika LA125p firmy LEM. Kondensator rezonansowy C1 został zbudowany z 10 kondensatorów CBB60E-100/450 o sumarycznej pojemności 1 mF i napięciu 450 V.

20 Cewka rezonansowa L1 miała następujące parametry: indukcyjność 2,53 mH i prąd znamionowy 60 A. Mostek tranzystorowy M1 w układzie H zbudowano na bazie dwóch modułów IGBT CM50DY-24H firmy MITSUBISHI zamontowanych na wspólnym radiatorze. Izolowana galwanicznie przetwornica DC/DC P1 – o parametrach 20 A, 60 V oraz mocy 1,2 kW zbudowana została na bazie układu scalonego UCC2895 i była ona sterowana zewnętrznym sygnałem napięciowym 0-3,3 V. Kondensator szyny DC C2 o napięciu 60 V i pojemności 1 mF zrealizowano w oparciu o kondensator ALC80A102BB100

25 firmy KEMET. W układzie tym pierwszy terminal TME1 będący złączem skręcanym M6 połączony był z pierwszym węzłem A i zrealizowany był w formie izolowanego przewodu miedzianego o przekroju 10 mm². Drugi terminal TME2 będący złączem skręcanym M6 połączony był z drugim węzłem B poprzez układ do pomiaru prądu CM, gdzie wykonano połączenie analogicznie jak powyżej. Natomiast przewód łączący drugi terminal TEM2 z węzłem B 10 mm² przewleczony był przez układ do pomiaru prądu CM - LA125p. Pomiędzy pierwszy węzeł A i pierwsze wyjście H1o mostka tranzystorowego w układzie H M1 włączony był kondensator rezonansowy C1 gdzie dla uzyskania odpowiedniej wydajności prądowej zbudowano kondensator rezonansowy z 10 połączonych równolegle kondensatorów 0,1 mF. Natomiast pomiędzy drugi węzeł B i drugie wyjście H2o mostka tranzystorowego H M1 włączona była cewka rezonansowa L1 wykonana z drutu miedzianego o przekroju 10mm² nawinięta na rdzeniu stalowym ET.

30

35

40

Pierwsze wejście H1i mostka tranzystorowego w układzie H M1 połączone było z pierwszym wyjściem DC1o izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC P1 za pośrednictwem trzeciego węzła C w formie izolowanego przewodu miedzianego 10 mm². Analogicznie wykonano drugie wejście H2i mostka tranzystorowego M1 w układzie Hm które połączone było z drugim wyjściem DC2i izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC P1 za pośrednictwem czwartego węzła D. Pierwsze wejście DC1i izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC P1 połączone było z pierwszym węzłem A za pomocą izolowanego przewodu miedzianego 10 mm². Drugie wejście DC2i izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC P1 połączone było z drugim węzłem B analogicznie jak powyżej. Przy czym pomiędzy pierwszy węzeł A i drugi węzeł B włączony był magazyn energii ME za pomocą dostępnych fabrycznie połączeń kablowych magazynu BMZ Poland. Pomędzy trzeci węzeł C i czwarty węzeł D włączony był kondensator szyny DC C2 z wykorzystaniem technologii skręcanej do tulejek na końcach przewodów miedzianych. Wyjście pomiarowe CMo układu do pomiaru prądu CM połączone było z wejściem pomiarowym CCI układu sterowania CC1 z wykorzystaniem ekranowanego, trzy-żyłowego przewodu sygnałowego o przekroju 0,2 mm. Natomiast pierwsze wyjście CW1a układu sterowania CC1 połączone było z wejściem sterującym CW1b mostka tranzystorowego w układzie H M1 za pomocą przewodu pięćżyłowego sterującego. Drugie wyjście CW2a układu sterowania CC1 połączone było z wejściem sterującym CW2b izolowanej galwanicznie przetwornicy DC/DC P1 za pomocą trójżyłowego przewodu sygnałowego o przekroju 0,2 mm². Układ sterowania CC1 był to mikroprocesor firmy Texas Instruments, model TMS320f28379d wyposażony w dedykowany konwerter prąd napięcie, który przekształcał sygnał prądowy +/-10 mA z układu do pomiar prądu CM - LA125p na sygnał napięciowy w zakresie 0-3,3 V. Mikroprocesor TMS320f28379d wyposażono w interfejs umożliwiający sterowanie modułami mocy IGBT CM50DY-24H, bazujący na dwóch układach scalonych 2ED2103S06F firmy Infineon.

Układ w drugim przykładzie wykonania przedstawiony na fig. 2. rysunku, posiadał budowę analogiczną do pierwszego przykładu wykonania z tym, że pomiędzy węzłem B a cewką rezonansową L1 wprowadzony był obwód pomiarowy RCM w postaci czujnika opartego o efekt Halla LA125p.

Układ w trzecim przykładzie wykonania przedstawiony na fig. 3 rysunku, posiadał budowę analogiczną do pierwszego przykładu wykonania z tym, że pomiędzy węzłem B a magazynem energii wprowadzony był obwód pomiarowy RCM w postaci czujnika opartego o efekt Halla LA125p.

Sposób rezonansowej kompensacji pulsacji prądu elektrochemicznego magazynu energii w pierwszym przykładzie wykonania zrealizowano z wykorzystaniem układu przedstawionego w pierwszym przykładzie wykonania, przedstawionego na fig. 1 rysunku, wykorzystując produkt komputerowy, którego schemat został przedstawiony na fig. 6 rysunku. Do terminala TME1 podłączono biegun dodatni zasilacza programowalnego ITECH IT6012, zaś do terminala TME2 podłączono biegun ujemny tego zasilacza. Za pomocą zasilacza wymuszono przepływ prądu pulsującego o częstotliwości 100 Hz i amplitudzie 10 A pomiędzy zasilaczem a magazynem energii. Prąd ten zmierzono za pomocą układu pomiaru CM LA125p i informacja ta trafiła do sterownika CC1. Na podstawie sygnału pomiarowego odtworzona została częstotliwość oraz amplituda prądu, które to informacje posłużyły do synchronizacji za pomocą algorytmu SRF-PLL i wygenerowania kąta fazowego zsynchronizowanego z kątem pulsacji prądu oraz dalej do wygenerowania sygnałów sterujących dla mostka tranzystorowego

w układzie H M1 oraz ustawienia sygnału referencyjnego I_{dc} dla przetwornicy DC/DC P1. Zaobserwowano, że na zaciskach magazynu energii pomiędzy węzłami A i B obniżono amplitudę prądu pulsującego do poziomu poniżej 2 A.

5 Sposób rezonansowej kompensacji pulsacji prądu elektrochemicznego magazynu energii w drugim przykładzie wykonania zrealizowano z wykorzystaniem układu przestawionego w drugim przykładzie wykonania, przedstawionego na fig. 2 rysunku, wykorzystując produkt komputerowy, którego schemat został przedstawiony na fig. 7 rysunku, przy czym sposób ten zrealizowany był analogicznie do pierwszego przykładu wykonania sposobu z tym, że zmierzono za pomocą układu pomiaru RCM LA125p prąd obwodu rezonansowego wynoszący 0 A i informacja ta przesłana została do układu sterującego CC3. Sygnał ten został wykorzystany do obliczenia sygnału referencyjnego dla izolowanej przetwornicy DC/DC P1, podczas gdy sygnał od pomiaru prądu CM został wykorzystany tylko do synchronizacji oraz wygenerowania sygnałów sterujących dla mostka H. Zaobserwowano, że prąd zmierzony przez układ pomiaru prądu rezonansowego RCM wzrósł do około 10 A wyrównując prąd wymuszony przez dołączony zasilacz, tym samym zmniejszając pulsację prądu płynącego przez magazyn energii ME do poziomu poniżej 0,5 A.

15 Sposób rezonansowej kompensacji pulsacji prądu elektrochemicznego magazynu energii w trzecim przykładzie wykonania zrealizowano z wykorzystaniem układu przestawionego w trzecim przykładzie wykonania, przedstawionego na fig. 3 rysunku, wykorzystując produkt komputerowy, którego schemat został przedstawiony na fig. 7 rysunku, przy czym sposób ten zrealizowany był analogicznie do pierwszego przykładu wykonania sposobu z tym, że zmierzono za pomocą układu pomiaru RCM LA125p prąd obwodu rezonansowego wynoszący 10 A i informacja ta przesłana została do układu sterującego CC3. Sygnał ten został wykorzystany do obliczenia sygnału referencyjnego dla izolowanej przetwornicy DC/DC P1, podczas gdy sygnał od pomiaru prądu CM został wykorzystany tylko do synchronizacji oraz wygenerowania sygnałów sterujących dla mostka H. Zaobserwowano, że prąd zmierzony przez układ pomiaru prądu rezonansowego RCM zmalał do wartości poniżej 0,5 A.

RZECZNIK PATENTOWY

Maciej Nowicki
mgr inż. Maciej Nowicki
Nr wp. 3476