

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **236796**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **432541**

(51) Int. Cl.
H02J 1/16 (2006.01)
H02K 7/02 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **09.01.2020**

(54) **Transformator z magazynem bezwładnościowym i sposób jego sterowania**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
07.09.2020 BUP 19/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
22.02.2021 WUP 04/21

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
DARIUSZ ZIELIŃSKI, Nowogród, PL
KAROL FATYGA, Garbów, PL
BARTŁOMIEJ STEFAŃCZAK, Lublin, PL
ŁUKASZ KWAŚNY, Lublin, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Maciej Nowicki

PL 236796 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ i sposób sterowania transformatora z magazynem bezwładnościowym, który pozwala na połączenie sieci średniego napięcia z siecią niskiego napięcia z możliwością jednoczesnego gromadzenia energii w zasobniku kinetycznym.

Dotychczas znany jest z opisu zgłoszenia patentowego nr CN109301982A układ silnika z kołem zamachowym posiadający dwa stojany pracujące na wspólnej osi, w którym oba uzwojenia stojana zasilane są z jednego układu przekształtnikowego.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego nr CN109167471A układ napędowy z dwoma silnikami połączonymi poprzez układ sprzęgający, posiadający niezależne zasilanie silników.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego nr CN108777525A układ magazynowania energii za pomocą koła zamachowego wykorzystujący silniki synchroniczne z magnesami trwałymi w którym wykorzystuje się pole magnetyczne jako łożyskowanie magnetyczne wału koła zamachowego.

Znany jest z opisu zgłoszenia patentowego nr US3824427A sposób sterowania wektorowego FOC (Field Oriented Control) stosowany w napędach silników prądu przemiennego a także jego późniejsza aplikacja w przekształtnikach sprzężonych z siecią, jako VOC (Voltage Oriented Control).

Najbliższym technicznie rozwiązaniem jest układ przedstawiony w opisie wzoru użytkowego nr DE202005019419U1, który opisuje układ dwóch maszyn elektrycznych połączonych wspólnym wałem posiadającym koła zamachowe, w którym jedna z maszyn służy do napędzania wału, zaś druga służy jako generator.

Celem wynalazku jest utworzenie układu transformatora napięcia SN/nN w wbudowanym zasobnikiem energii kinetycznej.

Przedmiotem wynalazku jest układu transformatora z magazynem bezwładnościowym jest układ posiadający transformator mechaniczny zawierający dwie maszyny synchroniczne, wał oraz masę bezwładnościową. Istotą wynalazku jest to, że składa się z trójfazowej, dziewięciuzwojeniowej maszyny synchronicznej w układzie połączeń otwartych, która składa się z wirnika i stojana, na którym na parę biegunów pierwszej fazy nawinięte są pierwsze uzwojenie drugie uzwojenie i trzecie uzwojenie, na parę biegunów drugiej fazy nawinięte są czwarte uzwojenie, piąte uzwojenie, szóste uzwojenie, na parę biegunów trzeciej fazy nawinięte są siódme uzwojenie, ósme uzwojenie, dziewiąte uzwojenie. Wał trójfazowej, dziewięciuzwojeniowej maszyny synchronicznej połączony jest z wałem trójfazowej maszyny synchronicznej przez masę wirującą. Układ ten ułożyskowany jest w szczelnej obudowie, do której podłączona jest pompa. W trójfazowej, dziewięciuzwojeniowej maszynie synchronicznej każdy układ trzech faz podłączony jest według następującego systemu:

- początek pierwszego uzwojenia połączony jest z pierwszym wyjściem pierwszego przekształtnika jednofazowego DC/AC,
- koniec pierwszego uzwojenia połączony jest z drugim wyjściem pierwszego przekształtnika jednofazowego DC/AC,
- początek drugiego uzwojenia połączony jest z pierwszym wyjściem drugiego przekształtnika jednofazowego DC/AC,
- koniec drugiego uzwojenia połączony jest z drugim wyjściem drugiego przekształtnika jednofazowego DC/AC,
- początek trzeciego uzwojenia połączony jest z pierwszym wyjściem trzeciego przekształtnika jednofazowego DC/AC,
- koniec trzeciego uzwojenia połączony jest z drugim wyjściem trzeciego przekształtnika jednofazowego DC/AC.

Pierwszy przekształtnik połączony jest szynami prądu stałego z czwartym przekształtnikiem, drugi przekształtnik połączony jest szynami prądu stałego z piątym przekształtnikiem, zaś trzeci przekształtnik jest połączony szynami prądu stałego z szóstym przekształtnikiem, natomiast czwarty przekształtnik AC/DC połączony jest pierwszym złączem z przyłączem do sieci oraz połączony jest drugim złączem z pierwszym złączem piątego przekształtnika AC/DC, którego drugie złącze połączone jest z pierwszym złączem szóstego przekształtnika AC/DC. Drugie złącze przekształtnika szóstego połączone jest z wyjściem neutralnym. Uzwojenia drugiej maszyny synchronicznej połączone są do siódmego przekształtnika AC/DC, który połączony jest szynami prądu stałego z ósmym przekształtnikiem DC/AC. Wyjścia ósmego przekształtnika połączone są do trójfazowego wyjścia układu.

Istotą sposobu sterowania układu według wynalazku jest to, że do przyłącza do sieci i wyjścia neutralnego pierwszego zespołu przekształtnikowego podłącza się pierwszą fazę napięcia trójfazowego

średniego napięcia, do przyłącza do sieci i wyjścia neutralnego drugiego zespołu przekształtnikowego podłącza się drugą fazę napięcia trójfazowego średniego napięcia, zaś do przyłącza do sieci i wyjścia neutralnego trzeciego zespołu przekształtnikowego podłącza się trzecią fazę napięcia trójfazowego średniego napięcia. Wszystkie zespoły przekształtnikowe steruje się według następującego systemu: czwarty przekształtnik, piąty przekształtnik, szósty przekształtnik steruje się jako wielopoziomowy przekształtnik kaskadowy, generując przebieg napięcia sinusoidalnego o zadanych parametrach, zaś przepływ prądu steruje się poprzez zmianę amplitudy i kąta fazowego pomiędzy napięciem przyłożonym do przekształtników tworzących kaskadę, a napięciem generowanym przez te przekształtniki. Siódmy przekształtnik steruje się tak, aby zapewnić przekształcenie napięcia sinusoidalnego trójfazowego średniej częstotliwości generowanego przez maszynę synchroniczną na napięcie stałe. Ósmy przekształtnik steruje się tak, aby przekształcał napięcie stałe z przekształtnika na napięcie sinusoidalne trójfazowe o parametrach zgodnych z napięciem sieciowym dla sieci niskiego napięcia. W przypadku pracy układu w przeciwną stronę ósmy przekształtnik steruje się tak, aby przekształcał napięcie sieciowe na napięcie stałe, które z kolei przekształcane jest na napięcie sinusoidalne trójfazowe średniej częstotliwości przez siódmy przekształtnik. Trzy zespoły przekształtnikowe steruje się według następującego systemu: za pomocą pierwszego przekształtnika, drugiego przekształtnika i trzeciego przekształtnika pierwszego zespołu przekształtnikowego generuje się napięcia sinusoidalne jednofazowe średniej częstotliwości, między którymi nie ma przesunięcia fazowego, przy czym napięcia te zasilają pierwszy zestaw par uzwojeń. Za pomocą pozostałych zespołów przekształtnikowych zasila się pozostałe zestawy par uzwojeń, natomiast napięcia sinusoidalne generowane przez pozostałe zespoły przekształtnikowe są przesunięte o odpowiednio 120° oraz 240° względem napięcia sinusoidalnego generowanego przez pierwszy zespół przekształtników. W przypadku pracy w przeciwną stronę za pomocą pierwszego przekształtnika, drugiego przekształtnika i trzeciego przekształtnika pierwszego zespołu przekształtnikowego odbiera się energię generowaną przez zespół maszynowy przekształcając napięcie sinusoidalne jednofazowe średniej częstotliwości na napięcie stałe, które następnie przekształca się przez czwarty przekształtnik, piąty przekształtnik i szósty przekształtnik połączone w kaskadę na napięcie jednofazowe zgodne z parametrami sieci średniego napięcia. Pozostałe zespoły przekształtnikowe steruje się w analogiczny sposób, odbierając energię z zespołu maszynowego i generując napięcia sinusoidalne jednofazowe zgodne z parametrami sieci średniego napięcia, przesunięte w fazie względem napięcia generowanego przez pierwszy zespół przekształtnikowy o odpowiednio 120° i 240° .

W odmianie układu transformatora z magazynem bezwładnościowym połączenia pomiędzy pierwszym, drugim oraz trzecim przekształtnikiem zespołów maszynowych a uzwojeniami maszyny trójfazowej, dziewięciouzwojeniowej wykonane są w następujący sposób:

- Oba końce pierwszego uzwojenia połączone są do wyjść pierwszego przekształtnika pierwszego zespołu przekształtnikowego,
 - Oba końce drugiego uzwojenia połączone są do wyjść pierwszego przekształtnika drugiego zespołu przekształtnikowego,
 - Oba końce trzeciego uzwojenia połączone są do wyjść pierwszego przekształtnika trzeciego zespołu przekształtnikowego,
 - Oba końce czwartego uzwojenia połączone są do wyjść drugiego przekształtnika pierwszego zespołu przekształtnikowego,
 - Oba końce piątego uzwojenia połączone są do wyjść drugiego przekształtnika drugiego zespołu przekształtnikowego,
 - Oba końce szóstego uzwojenia połączone są do wyjść drugiego przekształtnika trzeciego zespołu przekształtnikowego,
 - Oba końce siódmego uzwojenia połączone są do wyjść trzeciego przekształtnika pierwszego zespołu przekształtnikowego,
 - Oba końce ósmego uzwojenia połączone są do wyjść trzeciego przekształtnika drugiego zespołu przekształtnikowego,
 - Oba końce dziewiątego uzwojenia połączone są do wyjść trzeciego przekształtnika trzeciego zespołu przekształtnikowego,
- natomiast pozostałe połączenia układu pozostają bez zmian.

W odmianie sposobu sterowania transformatora z magazynem bezwładnościowym za pomocą pierwszego przekształtnika pierwszego zespołu przekształtnikowego generuje się napięcie sinusoidalne jednofazowe. Za pomocą drugiego przekształtnika pierwszego zespołu przekształtnikowego generuje się napięcie sinusoidalne jednofazowe, przesunięte względem napięcia generowanego przez pierwszy

przekształtnik o 120° . Za pomocą trzeciego przekształtnika pierwszego zespołu przekształtnikowego generuje się napięcie sinusoidalne jednofazowe, przesunięte względem napięcia generowanego przez pierwszy przekształtnik o 240° , przy czym drugi zespół przekształtnikowy oraz trzeci zespół przekształtnikowy generują analogiczne napięcia. Pozostałe elementy sposobu sterowania pozostają bez zmian.

Korzystnym skutkiem zastosowania wynalazku w miejscach instalacji klasycznych transformatorów sieci SN/nN, jest to, że uzyskana zostanie dodatkowa funkcjonalność, w postaci gromadzenia energii w układzie transformatora. Dzięki temu, transformator będzie w stanie podtrzymać pracę sieci lokalnej po zaniku zasilania po stronie średniego napięcia. Dodatkowo, ze względu na wykorzystaną topologię układów przekształtnikowych, możliwe jest wykorzystanie tranzystorów o trzykrotnie niższym napięciu blokowania.

Wynalazek został przedstawiony w przykładach wykonania na schematycznym rysunku, na którym poszczególne figury przedstawiają: fig. 1 – przekrój wzdłużny zespołu maszynowego, fig. 2 – przekrój poprzeczny maszyny synchronicznej, fig. 3 – schemat połączeń przekształtników z zespołem maszynowym w pierwszym przykładzie wykonania, fig. 4 – układ połączeń grupy przekształtnikowej do zespołu maszynowego w pierwszym przykładzie wykonania, fig. 5 – układ połączeń zespołów przekształtnikowych w drugim przykładzie wykonania.

Układ transformatora z magazynem bezwładnościowym w pierwszym przykładzie wykonania, którego schemat przedstawiono na fig. 3 oraz fig. 4 rysunku składał się z trzech identycznych zespołów przekształtnikowych IPPA, IPPB, IPPC, zespołu dwóch sprzężonych maszyn synchronicznych M1, M2 oraz dwóch przekształtników P7, P8. Zespoły przekształtnikowe IPPA, IPPB, IPPC złożone były z trzech identycznych jednofazowych przekształtników AC/DC P1, P2, P3 wykonanych w układzie mostka H, parametrach: częstotliwość kluczkowania: 3,3 kHz, napięcie szyny DC 4 kV, prąd maksymalny 400 A, w oparciu o tranzystory IGBT 5SNA 0400J650100, posiadających możliwość synchronizacji z innymi przekształtnikami oraz z trzech identycznych jednofazowych przekształtników AC/DC P4, P5, P6 w układzie mostka H, o parametrach: częstotliwość kluczkowania: 3,3 kHz, napięcie szyny DC 4 kV w oparciu o tranzystory IGBT 5SNA 0400J650100. Maszyna synchroniczna M1 (pokazana na fig. 1 i fig. 2 rysunku) była maszyną specjalną, o trzech uzwojeniach przypadających na parę biegunów każdej z faz o prędkości znamionowej 36 000 obr./min. Końce uzwojeń dla każdej z par biegunów połączone były odpowiednio: końce A1-A4, A2-A5, A3-A6 do pierwszego zespołu przekształtnikowego IPPA, końce B1-B4, B2-B5, B3-B6 do drugiego zespołu przekształtnikowego IPPB, końce C1-C4, C2-C5, C3-C6 do trzeciego zespołu przekształtnikowego IPPC. Maszyna synchroniczna M2 (pokazana na fig. 1 rysunku) była maszyną synchroniczną o prędkości znamionowej 36 000 obr./min. Obie maszyny połączone były za pomocą masy wirującej ES w postaci talerza wykonanego z włókna węglowego o masie 20 kg i promieniu 0,5 m. Uzwojenia maszyny synchronicznej M2 podłączone były do jednofazowego przekształtnika AC/DC P7 o parametrach: częstotliwość kluczkowania: 3,3 kHz, napięcie szyny DC 560 V, prąd maksymalny 100 A, opartego o tranzystory CM400DU-24NFH. Poprzez szynę DC o pojemności 20 000 μF przekształtnik AC/DC P7 połączony był z przekształtnikiem AC/DC P8 o parametrach: częstotliwość kluczkowania: 3,3 kHz, napięcie szyny DC 560 V, prąd maksymalny 100 A, opartego o tranzystory CM400DU-24NFH, który z kolei połączony był do trójfazowego wyjścia układu IPSA, IPSB, IPSC, IPSN.

Układ transformatora z magazynem bezwładnościowym w drugim przykładzie wykonania, którego schemat przedstawiono na fig. 5 rysunku posiadał analogiczną budowę jak w pierwszym przykładzie wykonania, z tym że końce uzwojeń dla każdej z par biegunów połączone były w następujący sposób: do zespołu przekształtnikowego IPPA przyłączone były pary końców uzwojeń A1-A4, B1-B4, C1-C4. Do zespołu przekształtnikowego IPPB przyłączone były pary końców uzwojeń A2-A5, B1-B5, C2-C5. Do zespołu przekształtnikowego IPPC dołączone były pary końców uzwojeń A3-A6, B3-B6, C3-C6. Układ połączeń zaprezentowany jest w tabeli 1.

Sposób sterowania transformatorem z magazynem bezwładnościowym w pierwszym przykładzie wykonania zrealizowano z zastosowaniem układu przedstawionego w pierwszym przykładzie wykonania. Polegał on na tym, że do zespołów przekształtnikowych IPPA, IPPB, IPPC dołączono trójfazowe napięcie średniego napięcia 15 kV/50 Hz. Kaskadę przekształtników P4, P5, P6 sterowano za pomocą algorytmu wektorowego sterowania napięciem (VOC). Kaskada przekształtników P4, P5, P6 każdego z zespołów IPPA, IPPB, IPPC jedną fazę napięcia 15 kV/50 Hz przekształcało na trzy napięcia stałe trzykrotnie mniejsze od fazowego (5 kV), będące napięciami szyn DC łączących przekształtniki AC/DC P4-P1, P5-P2, P6-P3. Przekształtniki AC/DC P1, P2, P3 zespołu przekształtnikowego IPPA wykorzystywane były do zasilania uzwojeń (A1-A4, A2-A5, A3-A6) pary biegunów pierwszej fazy. Analogicznie,

para biegunów drugiej fazy zasilona była z zespołu przekształtnikowego IPPB, zaś para biegunów trzeciej fazy z zespołu przekształtnikowego IPPC. Przekształtnikami P1, P2, P3 sterowano za pomocą algorytmu sterowania wektorowego FOC, którego zadaniem było rozpędzenie maszyny synchronicznej M1 do prędkości obrotowej 20 000 obr/min. Przekształtniki P1, P2, P3 generowały napięcia sinusoidalne zmieniające się od 0 do 2,34 kV i częstotliwości od 0 do 334 Hz. Napięcia generowane przez przekształtniki AC/DC P1, P2, P3 zespołu przekształtnikowego IPPA były ze sobą w fazie. Analogicznie generowane były napięcia przez zespoły przekształtnikowe IPPB, IPPC, przy czym były one przesunięte w fazie odpowiednio o 120° i 240° względem napięcia generowanego przez zespół przekształtnikowy IPPA. Podczas rozpędzania gromadzona była energia w kole zamachowym ES. Ilość zgromadzonej energii w rozpędzonym kole zamachowym wyniosła 138 kWh. Maszyna synchroniczna M2 rozpędzała się wraz z maszyną M1 oraz kołem zamachowym generując przebieg trójfazowy sinusoidalny na swych zaciskach. Przebieg ten trafiał na przekształtnik AC/DC P7 sterowany algorytmem FOC, który przekształcał napięcie przemiennie na napięcie stałe zasilające przekształtnik DC/AC P8 sterowany algorytmem VOC, który ponownie przekształcał napięcie stałe na napięcie przemiennie o parametrach zgodnych z napięciem sieci niskiego napięcia do której był dołączony (0,4 kV/50 Hz). Po rozpędzeniu maszyny i wskazaniu przez czujniki, że napięcie po pierwotnej stronie wynosi 15 kV, zaś po stronie wtórnej wynosi 0,4 kV w stanie bez obciążenia, stan ten zdefiniowano jako stan jałowy układu.

W pierwszym przypadku realizacji sposobu dołączono trójfazowe obciążenie rezystancyjne do zacisków wyjściowych układu IPSA, IPSB, IPSC, IPSN w postaci grzałek o mocy 3x6 kW, spowodowano przepływ energii z sieci średniego napięcia do sieci niskiego napięcia wywołany przez spadek napięcia szyny DC o 2% łączącej przekształtniki P8 oraz P7 wynikający ze zwiększonego obciążenia przekształtnika P8, który z kolei spowodował przejście przekształtnika P7 w tryb odzyskowego hamowania maszyny elektrycznej M2. Hamowanie maszyny M2 spowodowało spadek prędkości obrotowej całego zespołu maszynowego HTES z 20 000 na 19 900 obr/min po upływie 6 minut. Ze względu na spadek prędkości obrotowej poniżej prędkości synchronicznej przekształtniki AC/DC P1, P2, P3 każdego z zespołów IPPA, IPPB, IPPC zaczęły dostarczać energię do maszyny synchronicznej M1 w taki sposób, aby wygenerować moment obrotowy, który przywróci prędkość obrotową maszyny do zadanej prędkości synchronicznej. Przyspieszanie maszyny M1 odbyło się kosztem poboru energii z szyn DC łączących przekształtniki AC/DC P1-P4, P2-P5, P3-P6, co spowodowało spadek napięcia na tych szynach DC. W odpowiedzi na to zadziały regulatory w przekształtnikach P4, P5, P6 każdego z zespołów IPPA, IPPB, IPPC powodując zmianę kąta fazowego między napięciem generowanym przez przekształtniki P4, P5, P6 a napięciem sieciowym o wartości $1,5^\circ$, powodując przepływ mocy o wartości 7,35 kW.

W drugim przypadku realizacji sposobu dołączono źródło napięcia trójfazowego do zacisków wyjściowych układu IPSA, IPSB, IPSC, IPSN o napięciu o 2% wyższym niż znamionowe napięcie przekształtnika P8, spowodowano przepływ mocy 3x10 kW i przejście tego przekształtnika w pracę prostownikową oraz zasilanie szyny DC łączącej go z przekształtnikiem P7. Wzrost napięcia na szynie DC pomiędzy przekształtnikami spowodował przejście przekształtnika P7 w pracę falownikową rozpędzając maszynę synchroniczną M2 powyżej jej zadanej prędkości synchronicznej. Prędkość maszyny synchronicznej wzrosła do 20 100 obr./min. Wzrost prędkości obrotowej spowodował wzrost energii zgromadzonej w kole zamachowym o 2 kWh. Wzrost prędkości ponad prędkość ustaloną spowodował przejście przekształtników AC/DC P1, P2, P3 zespołów przekształtnikowych IPPA, IPPB, IPPC do trybu hamowania odzyskowego, co spowodowało doładowanie pojemności szyn DC łączących przekształtniki AC/DC P1-P4, P2-P5, P3-P6 zespołów przekształtnikowych IPPA, IPPB, IPPC. Wzrost napięcia na tych szynach DC spowodował reakcję regulatorów przekształtników kaskadowych P4, P5, P6 zespołów przekształtnikowych IPPA, IPPB, IPPC co spowodowało zmianę kąta fazowego między napięciem generowanym przez przekształtniki P4, P5, P6 a napięciem sieciowym o wartości $-1,5^\circ$, powodując przepływ mocy o wartości 8,1 kW.

W trzecim przypadku realizacji sposobu układ został uruchomiony i obciążony jak w przypadku pierwszym, przy czym po dołączeniu obciążenia do zacisków IPSA, IPSB, IPSC, IPSN zostało odłączone napięcie zasilania po stronie średniego napięcia (od złącz IPA, INA, IPB, INB, IPC, INC). Zespoły przekształtnikowe IPPA, IPPB, IPPC wyłączyły się. Przekształtniki P8 oraz P7 kontynuowały pracę jak w przypadku pierwszym, wykorzystując energię zgromadzoną w kole zamachowym ES. Dzięki zgromadzonej energii były w stanie podtrzymać pracę przez 7 godzin. Po upływie tego czasu generowane przez przekształtnik P8 napięcie trójfazowe spadło poniżej normy dla niskiego napięcia sieci co spowodowało wyłączenie całego układu.

Sposób sterowania transformatorem z magazynem bezwładnościowym w drugim przykładzie wykonania zrealizowano z zastosowaniem układu przedstawionego w drugim przykładzie wykonania, i został on zrealizowany analogicznie jak w przykładzie sterowania według sposobu pierwszego, z tym że zamiast realizacji wykorzystania przekształtników AC/DC P1, P2, P3 zespołu przekształtnikowego IPPA do zasilania uzwojeń (A1-A4, A2-A5, A3-A6) pary biegunów pierwszej fazy, pary biegunów drugiej fazy z zespołu przekształtnikowego IPPB, zaś pary biegunów trzeciej fazy z zespołu przekształtnikowego IPPC, zrealizowano następujące sterowanie: przekształtnik AC/DC P1 zespołu przekształtnikowego IPPA zasilat napięciem sinusoidalnym uzwojenie A1-A4 z pierwszej grupy uzwojeń. Przekształtnik AC/DC P2 zespołu przekształtnikowego IPPA zasilat napięciem sinusoidalnym, przesuniętym w fazie o 120° względem napięcia generowanego przez przekształtnik AC/DC P1, uzwojenie B1-B4 z drugiej grupy uzwojeń. Przekształtnik AC/DC P3 zespołu przekształtnikowego IPPA zasilat napięciem sinusoidalnym, przesuniętym w fazie o 240° względem napięcia generowanego przez przekształtnik AC/DC P1, uzwojenie C1-C4 z drugiej grupy uzwojeń. Analogicznie zasilane były uzwojenia A2-A5, B2-B5 oraz C2-C5 z wykorzystaniem zespołu przekształtnikowego IPPB oraz uzwojenia A3-A6, B3-B6, C3-C6 z wykorzystaniem zespołu przekształtnikowego IPPC. Dalszą procedurę przeprowadzono jak w przykładzie realizacji sposobu pierwszego, uzyskując te same wyniki.

T a b e l a 1
Układ połączeń przekształtników z maszyną dziewięciuzwojeniową

Port przekształtnika	Koniec uzwojenia maszyny
WPA ₁₁	A1
WPA ₁₂	A4
WPA ₁₃	B1
WPA ₁₄	B4
WPA ₁₅	C1
WPA ₁₆	C4
WPB ₁₁	A2
WPB ₁₂	A5
WPB ₁₃	B2
WPB ₁₄	B5
WPB ₁₅	C2
WPB ₁₆	C5
WPC ₁₁	A3
WPC ₁₂	A6
WPC ₁₃	B3
WPC ₁₄	B6
WPC ₁₅	C3
WPC ₁₆	C6

Zastrzeżenia patentowe

1. Transformator z magazynem bezwładnościowym posiadający transformator mechaniczny zawierający dwie maszyny synchroniczne, wał oraz masę bezwładnościową (HTES) **znamienny tym**, że składa się z trójfazowej, dziewięciuzwojeniowej maszyny synchronicznej (M1) w układzie połączeń otwartych, która składa się z wirnika (RT) i stojana (ST), na którym na parę biegunów pierwszej fazy nawinięte są pierwsze uzwojenie (A1-A4), drugie uzwojenie (A2-A5), trzecie uzwojenie (A3-A6), na parę biegunów drugiej fazy nawinięte są czwarte uzwojenie, piąte uzwojenie, szóste uzwojenie, na parę biegunów trzeciej fazy nawinięte są siódme uzwojenie, ósme uzwojenie, dziewiąte uzwojenie zaś wał dziewięciuzwojeniowej maszyny synchronicznej (M1) połączony jest z wałem trójfazowej maszyny synchronicznej (M2) przez masę wirującą (ES) przy czym układ ten ułożyskowany jest w szczelnej obudowie, do której podłączona jest pompa, **natomiast** w trójfazowej, dziewięciuzwojeniowej maszynie synchronicznej (M1) każdy układ trzech faz (IPPA, IPPB, IPPC) podłączony jest według następującego systemu:
 - początek pierwszego uzwojenia (A1) połączony jest z wyjściem (WPA₁₁) przekształtnika jednofazowego DC/AC (P1),
 - koniec pierwszego uzwojenia (A4) połączony jest z wyjściem (WPA₁₂) przekształtnika jednofazowego DC/AC (P1),
 - początek drugiego uzwojenia (A2) połączony jest z wyjściem (WPA₁₃) przekształtnika jednofazowego DC/AC (P2),
 - koniec drugiego uzwojenia (A5) połączony jest z wyjściem (WPA₁₄) przekształtnika jednofazowego DC/AC (P2),
 - początek trzeciego uzwojenia (A3) połączony jest z wyjściem (WPA₁₅) przekształtnika jednofazowego DC/AC (P3),
 - koniec trzeciego uzwojenia (A6) połączony jest z wyjściem (WPA₁₆) przekształtnika jednofazowego DC/AC (P3),**z kolei** pierwszy przekształtnik (P1) połączony jest szynami prądu stałego z czwartym przekształtnikiem (P4), drugi przekształtnik (P2) połączony jest szynami prądu stałego z piątym przekształtnikiem (P5), zaś trzeci przekształtnik (P3) jest połączony szynami prądu stałego z szóstym przekształtnikiem (P6), **przy czym** czwarty przekształtnik AC/DC (P4) połączony jest złączem (P4H) z przyłączem do sieci (IPA) oraz połączony jest złączem (P4N) ze złączem (P5H) piątego przekształtnika AC/DC (P5), którego złącze (P5N) połączone jest ze złączem (P6H) szóstego przekształtnika AC/DC (P6), zaś złącze (P6N) przekształtnika szóstego (P6) połączone jest z wyjściem neutralnym (INA), **z kolei** uzwojenia drugiej maszyny synchronicznej (M2) połączone są do siódmego przekształtnika AC/DC (P7), który połączony jest szynami prądu stałego z ósmym przekształtnikiem AC/DC (P8), **przy czym** wyjścia (IPSA, IPSB, IPSC, IPSN) ósmego przekształtnika AC/DC (P8) połączone są do trójfazowego wyjścia układu.
2. Transformator z magazynem bezwładnościowym posiadający transformator mechaniczny zawierający dwie maszyny synchroniczne, wał oraz masę bezwładnościową (HTES) **znamienny tym**, że składa się z trójfazowej, dziewięciuzwojeniowej maszyny synchronicznej (M1) w układzie połączeń otwartych, która składa się z wirnika (RT) i stojana (ST) na którym na parę biegunów pierwszej fazy nawinięte są pierwsze uzwojenie (A1-A4), drugie uzwojenie (A2-A5), trzecie uzwojenie (A3-A6), na parę biegunów drugiej fazy nawinięte są czwarte uzwojenie, piąte uzwojenie i szóste uzwojenie, na parę biegunów trzeciej fazy nawinięte są siódme uzwojenie, ósme uzwojenie i dziewiąte uzwojenie **zaś** wał dziewięciuzwojeniowej maszyny synchronicznej (M1) połączony jest z wałem trójfazowej maszyny synchronicznej (M2) przez masę wirującą (ES) przy czym układ ten ułożyskowany jest w szczelnej obudowie do której podłączona jest pompa, **natomiast** zasilanie trójfazowej, dziewięciuzwojeniowej maszyny synchronicznej (M1) przebiega w ten sposób, że:
 - pierwsza para końców uzwojeń (A1-A4) podłączona jest do pierwszego zespołu przekształtnikowego (IPPA),
 - druga para końców uzwojeń (A2-A5) połączona jest do drugiego zespołu przekształtnikowego (IPPB),
 - natomiast trzecia para końców uzwojeń (A3-A6) połączona jest do trzeciego zespołu przekształtnikowego (IPPC),

- czwarta para końców uzwojeń (B1-B4) podłączona jest do pierwszego zespołu przekształtnikowego (IPPA),
- piąta para końców uzwojeń (B2-B5) podłączona jest do drugiego zespołu przekształtnikowego (IPPB),
- szósta para końców uzwojeń (B3-B6) podłączona jest do trzeciego zespołu przekształtnikowego (IPPC),
- siódma para końców uzwojeń (C1-C4) podłączona jest do pierwszego zespołu przekształtnikowego (IPPA),
- ósma para końców uzwojeń (C2-C5) podłączona jest do drugiego zespołu przekształtnikowego (IPPB),
- dziewiąta para końców uzwojeń (C3-C6) podłączona jest do trzeciego zespołu przekształtnikowego (IPPC),

przy czym układ połączeń uzwojeń maszyny synchronicznej do zespołów przekształtnikowych (IPPA, IPPB, IPPC) wykonany jest według następującego systemu:

- pierwsza para końców uzwojeń (A1-A4) podłączona jest do złącz (WPA₁₁-WPA₁₂) pierwszego przekształtnika DC/AC (P1),
- czwarta para uzwojeń (B1-B4) podłączona jest do złącz (WPA₁₃-WPA₁₄) drugiego przekształtnika DC/AC (P2),
- siódma para uzwojeń (C1-C4) podłączona jest do złącz (WPA₁₅-WPA₁₆) trzeciego przekształtnika DC/AC (P3),

z kolei pierwszy przekształtnik AC/DC (P1) połączony jest szynami prądu stałego z czwartym przekształtnikiem AC/DC (P4), drugi przekształtnik AC/DC (P2) połączony jest szynami prądu stałego z piątym przekształtnikiem AC/DC (P5), zaś trzeci przekształtnik AC/DC (P3) jest połączony szynami prądu stałego z szóstym przekształtnikiem AC/DC (P6), **przy czym** czwarty przekształtnik AC/DC (P4) połączony jest złączem (P4H) z przyłączem do sieci (IPA) oraz połączony jest złączem (P4N) ze złączem (P5H) piątego przekształtnika (P5), którego złącze (P5N) połączone jest ze złączem (P6H) szóstego przekształtnika (P6), zaś złącze (P6N) przekształtnika szóstego (P6) połączone jest z wyjściem neutralnym (INA), z kolei uzwojenia drugiej maszyny synchronicznej (M2) połączone są do siódmego przekształtnika AC/DC (P7), który połączony jest szynami prądu stałego z ósmym przekształtnikiem AC/DC (P8), **przy czym** wyjścia (IPSA, IPSB, IPSC, IPSN) ósmego przekształtnika AC/DC (P8) połączone są do trójfazowego wyjścia układu.

3. Sposób sterowania układu określonego zastrz. 1, w którym do przyłącza do sieci (IPA) i wyjścia neutralnego (INA) zespołu przekształtnikowego (IPPA) podłącza się pierwszą fazę napięcia trójfazowego średniego napięcia, do przyłącza do sieci (IPB) i wyjścia neutralnego (INB) zespołu przekształtnikowego (IPPB) podłącza się drugą fazę napięcia trójfazowego średniego napięcia, **zaś** do przyłącza do sieci (IPC) wyjścia neutralnego (INC) podłącza się trzecią fazę napięcia trójfazowego średniego napięcia, **natomiast** zespoły przekształtnikowe (IPPA, IPPB, IPPC) steruje się według następującego systemu: czwarty przekształtnik AC/DC (P4), piąty przekształtnik AC/DC (P5), szósty przekształtnik AC/DC (P6) steruje się jako wielopoziomowy przekształtnik kaskadowy, generując przebieg napięcia sinusoidalnego o zadanych parametrach, zaś przepływ prądu steruje się poprzez zmianę amplitudy i kąta fazowego pomiędzy napięciem przyłożonym do przekształtników tworzących kaskadę, a napięciem generowanym przez te przekształtniki, zaś siódmy przekształtnik AC/DC (P7) steruje się tak, aby zapewnić przekształcenie napięcia sinusoidalnego trójfazowego średniej częstotliwości generowanego przez maszynę synchroniczną (M2) na napięcie stałe, **natomiast** ósmy przekształtnik AC/DC (P8) steruje się tak, aby przekształcał napięcie stałe z przekształtnika AC/DC (P7) na napięcie sinusoidalne trójfazowe o parametrach zgodnych z napięciem sieciowym dla sieci niskiego napięcia, **z kolei** w przypadku pracy układu w przeciwną stronę ósmy przekształtnik AC/DC (P8) steruje się tak, aby przekształcał napięcie sieciowe na napięcie stałe, które z kolei przekształcane jest na napięcie sinusoidalne trójfazowe średniej częstotliwości przez przekształtnik AC/DC (P7) **znamienny tym**, że zespoły przekształtnikowe (IPPA, IPPB, IPPC) steruje się według następującego systemu:

za pomocą pierwszego przekształtnika AC/DC (P1), drugiego przekształtnika AC/DC (P2), trzeciego przekształtnika AC/DC (P3) pierwszego zespołu przekształtnikowego (IPPA) generuje się napięcia sinusoidalne jednofazowe średniej częstotliwości, między którymi nie ma

- przesunięcia fazowego, **przy czym** napięcia te zasilają pierwszy zestaw par uzwojeń (A1-A4, A2-A5, A3-A6), **zaś** pozostałe zespoły przekształtnikowe (IPPB, IPPC) zasilają się pozostałe zestawy par uzwojeń, **natomiast** napięcia sinusoidalne generowane przez pozostałe zespoły przekształtnikowe (IPPB, IPPC) są przesunięte odpowiednio 120° oraz 240° względem napięcia sinusoidalnego generowanego przez pierwszy zespół przekształtnikowy (IPPA), **z kolei** w przypadku pracy w przeciwną stronę za pomocą pierwszego przekształtnika AC/DC (P1), drugiego przekształtnika AC/DC (P2) i trzeciego przekształtnika AC/DC (P3) pierwszego zespołu przekształtnikowego (IPPA) odbiera się energię generowaną przez zespół maszynowy (HTES) przekształcając napięcie sinusoidalne jednofazowe średniej częstotliwości na napięcie stałe, które następnie przekształca się przez czwarty przekształtnik AC/DC (P4), piąty przekształtnik AC/DC (P5) i szósty przekształtnik AC/DC (P6) połączone w kaskadę na napięcie jednofazowe zgodne z parametrami sieci średniego napięcia, zaś pozostałe zespoły przekształtnikowe (IPPB, IPPC) steruje się w analogiczny sposób, odbierając energię z zespołu maszynowego (HTES) generując napięcia sinusoidalne jednofazowe zgodne z parametrami sieci średniego napięcia, przesunięte w fazie względem napięcia generowanego przez zespół przekształtnikowy (IPPA) o odpowiednio 120° i 240° .
4. Sposób sterowania układu określonego zastrz. 2, w którym do przyłącza do sieci (IPA) i wyjścia neutralnego (INA) zespołu przekształtnikowego (IPPA) podłącza się pierwszą fazę napięcia trójfazowego średniego napięcia, do przyłącza do sieci (IPB) i wyjścia neutralnego (INB) zespołu przekształtnikowego (IPPB) podłącza się drugą fazę napięcia trójfazowego średniego napięcia, zaś do przyłącza do sieci (IPC) i wyjścia neutralnego (INC) podłącza się trzecią fazę napięcia trójfazowego średniego napięcia, **natomiast** zespoły przekształtnikowe (IPPA, IPPB, IPPC) steruje się według następującego systemu: czwarty przekształtnik AC/DC (P4), piąty przekształtnik AC/DC (P5), szósty przekształtnik (P6) steruje się jako wielopoziomowy przekształtnik kaskadowy, generując przebieg napięcia sinusoidalnego o zadanych parametrach, zaś przepływ prądu steruje się poprzez zmianę amplitudy i kąta fazowego pomiędzy napięciem przyłożonym do przekształtników tworzących kaskadę, a napięciem generowanym przez te przekształtniki, **zaś** siódmy przekształtnik AC/DC (P7) steruje się tak, aby zapewnić przekształcenie napięcia sinusoidalnego trójfazowego średniej częstotliwości generowanego przez maszynę synchroniczną (M2) na napięcie stałe, **natomiast** ósmy przekształtnik AC/DC (P8) steruje się tak, aby przekształcał napięcie stałe z przekształtnika AC/DC (P7) na napięcie sinusoidalne trójfazowe o parametrach zgodnych z napięciem sieciowym dla sieci niskiego napięcia, **z kolei** w przypadku pracy układu w przeciwną stronę ósmy przekształtnik AC/DC (P8) steruje się tak, aby przekształcał napięcie sieciowe na napięcie stałe, które z kolei przekształcane jest na napięcie sinusoidalne trójfazowe średniej częstotliwości przez przekształtnik AC/DC (P7) znamienny tym, że wszystkie zespoły przekształtnikowe (IPPA, IPPB, IPPC) steruje się według następującego systemu:
- pierwszy przekształtnik AC/DC (P1) pierwszego zespołu przekształtnikowego (IPPA) generuje napięcie sinusoidalne średniej częstotliwości, które zasilają pierwszą parę uzwojeń (A1-A4),
 - drugi przekształtnik AC/DC (P2) pierwszego zespołu przekształtnikowego (IPPA) generuje napięcie sinusoidalne średniej częstotliwości, przesunięte w fazie o 120° względem napięcia generowanego przez przekształtnik AC/DC (P1), które zasilają czwartą parę uzwojeń (B1-B4),
 - trzeci przekształtnik AC/DC (P3) zespołu przekształtnikowego (IPPA) generuje napięcie sinusoidalne średniej częstotliwości, przesunięte w fazie o 240° względem napięcia generowanego przez przekształtnik AC/DC (P1), które zasilają siódmą parę uzwojeń (C1-C4),
- przy czym** drugą grupę uzwojeń (A2-A5, B2-B5, C2-C5) zasilają się z drugiego zespołu przekształtnikowego (IPPB) korzystając z powyższego systemu, **zaś** trzecią grupę uzwojeń (A3-A6, B3-B6, C3-C6) zasilają się z trzeciego zespołu przekształtnikowego (IPPC) korzystając z powyższego systemu, **natomiast** w przypadku pracy w przeciwną stronę za pomocą pierwszego przekształtnika AC/DC (P1), drugiego przekształtnika AC/DC (P2) i trzeciego przekształtnika AC/DC (P3) pierwszego zespołu przekształtnikowego (IPPA) odbiera się energię generowaną przez zespół maszynowy (HTES) przekształcając napięcie sinusoidalne trójfazowe średniej częstotliwości na napięcie stałe, które następnie przekształca się przez czwarty przekształtnik AC/DC (P4), piąty przekształtnik AC/DC (P5) i szósty przekształtnik AC/DC (P6) połączone w kaskadę na napięcie jednofazowe zgodne z parametrami sieci średniego napięcia, zaś pozostałe zespoły przekształtnikowe (IPPB, IPPC) steruje się w analogiczny sposób,

odbierając energię z zespołu maszynowego (HTES) i generując napięcia sinusoidalne jednofazowe zgodne z parametrami sieci średniego napięcia, przesunięte w fazie względem napięcia generowanego przez zespół przekształtnikowy (IPPA) o odpowiednio 120° i 240° .

Rysunki

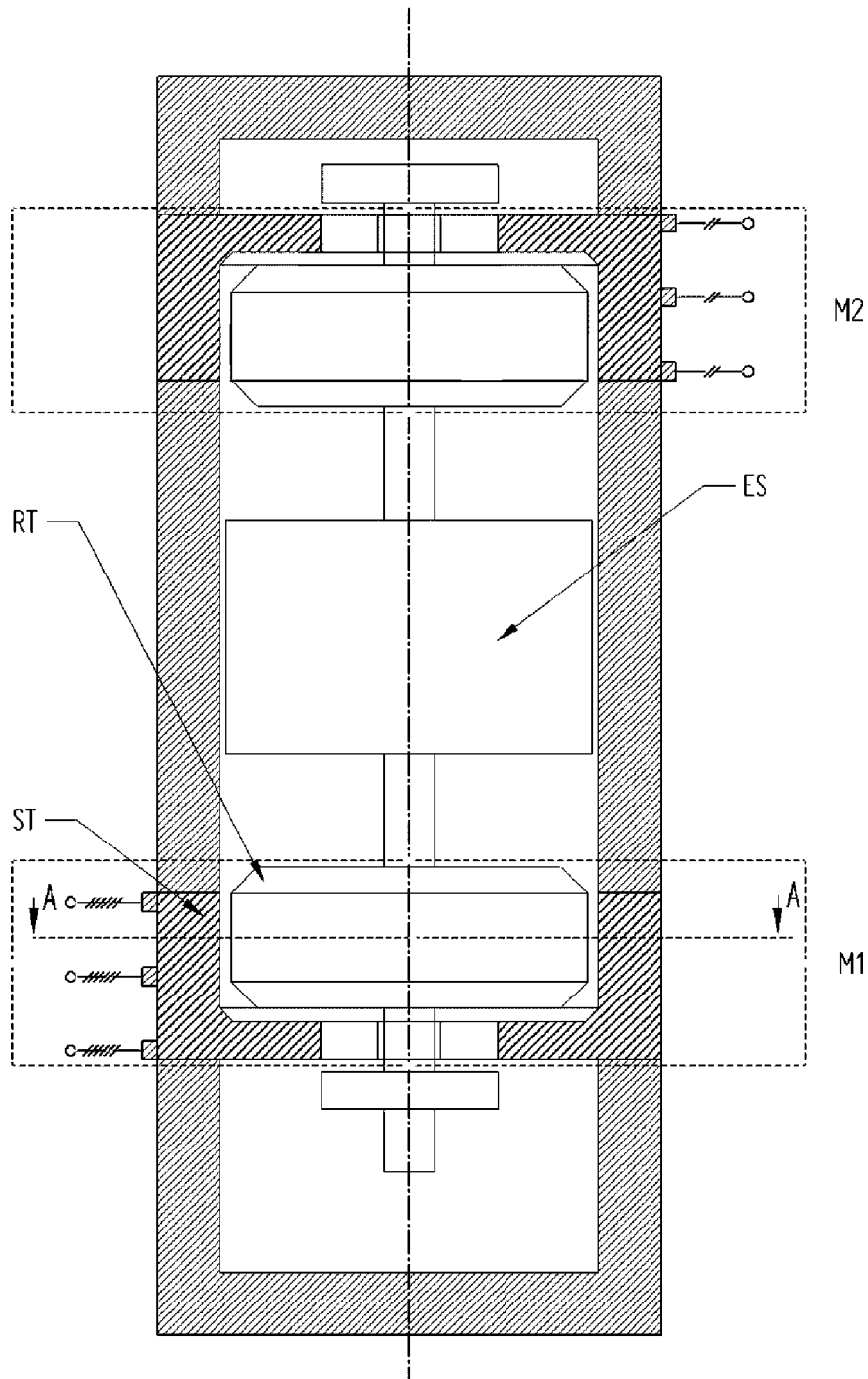


fig. 1

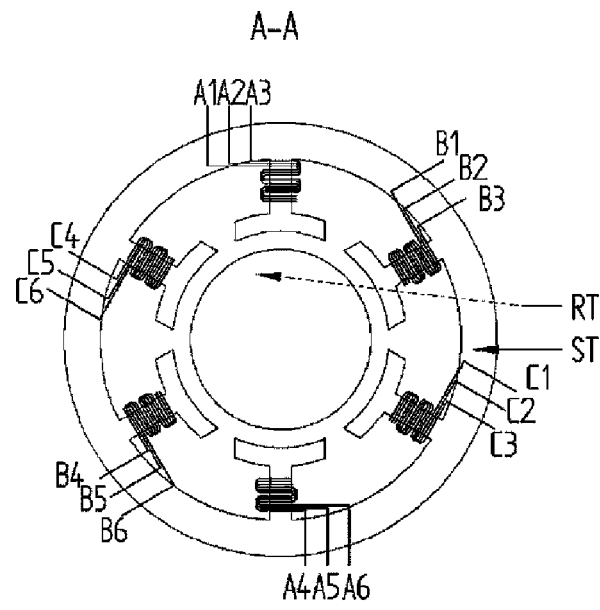
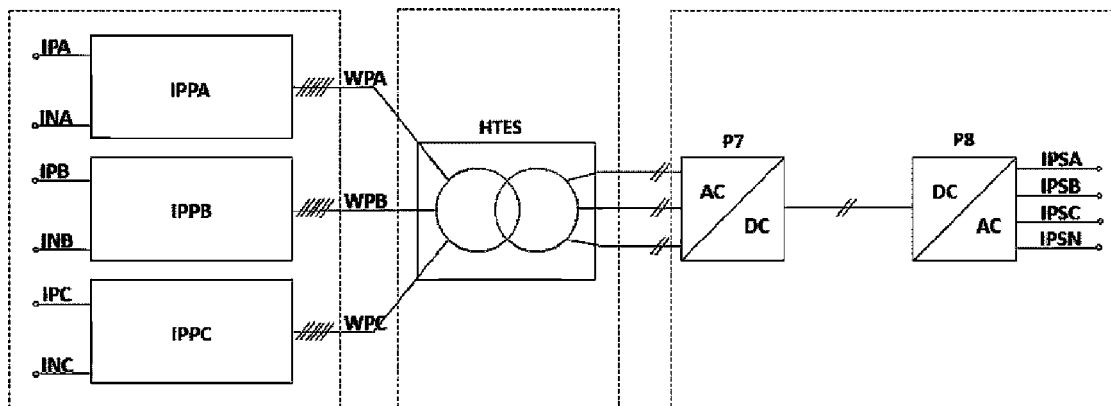


fig. 2

fig. 3



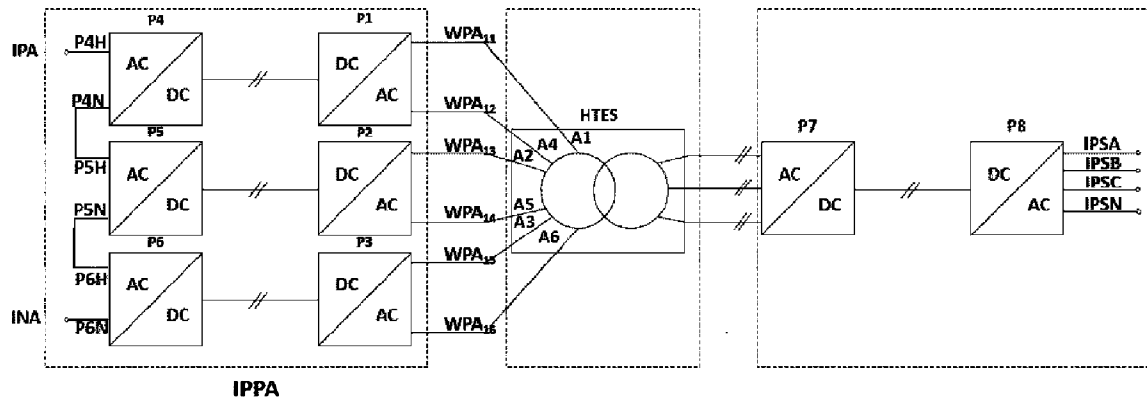


fig. 4

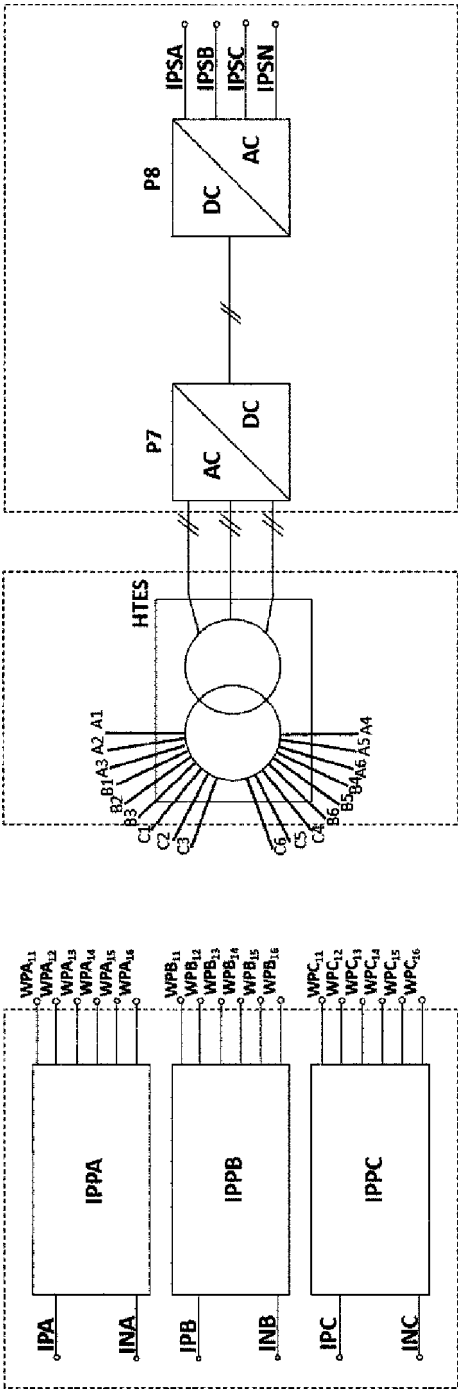


fig. 5