

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 245362 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **439134**

(22) Data zgłoszenia: **2021.10.05**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2022.05.09 BUP 19/2022**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.07.08 WUP 28/2024**

(51) MKP:

H05B 6/06 (2006.01)

H02M 7/48 (2007.01)

C21D 1/10 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(-y) wynalazku:

KAMIL KIEREPKA, Katowice, PL

KRYSTIAN FRANIA, Kozłów, PL

MARCIN KASPRZAK, Ruda Śląska, PL

PIOTR ZIMOCH, Zabrze, PL

(54) Tytuł:

Urządzenie do dwuczęstotliwościowego nagrzewania indukcyjnego z 3-fazowym falownikiem napięcia

PL 245362 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do dwuczęstotliwościowego (DF) nagrzewania indukcyjnego bazujące na 3-fazowym falowniku napięcia. Układ przeznaczony jest do zastosowania zwłaszcza w indukcyjnym nagrzewaniu wstępnym przed hartowaniem elementów o nieregularnym kształcie, np. kół zębatach. Urządzenie według wynalazku łączy korzystne cechy rozwiązań dwu i jedno falownikowych, m.in. umożliwiając realizację procesu nagrzewania dwuczęstotliwościowego w dwóch wariantach: jednoczesnym (SDF) i sekwencyjnym (PDF).

Wysokie wymagania stawiane parametrom mechanicznym stalowych elementów konstrukcji maszyn stwarzają potrzebę stosowania precyzyjnych procesów obróbki cieplnej. Nagrzewanie indukcyjne cechuje się wysoką sprawnością, powtarzalnością oraz szybkością procesu. Często spotykanym w przemyśle jest potrzeba poprawy właściwości mechanicznych elementów o nieregularnym kształcie np. kół zębatach. Proces hartowania polega na wstępnym podgrzaniu stalowego elementu do temperatury hartowania, a następnie schłodzeniu ze ściśle określoną dynamiką. Po hartowaniu, w przypadku kół zębatach, pożądana jest wysoka odporność na ścieranie powierzchni bocznych oraz den wrębów przy zachowaniu odpowiedniej sprężystości i plastyczności wnętrza. W zależności od aplikacji, wymagane są różne profile twardości powierzchni koła zębatego. Odpowiednie modelowanie profili twardości koła jest problematyczne, głównie ze względu na występowanie różnych sprzężeń pomiędzy wzbudnikiem a obszarami den wrębów oraz wierzchołków zębów. Dodatkowo z okolic wrębów występuje znaczny odpływ ciepła do wnętrza koła zębatego. Parametrami mającymi znaczący wpływ na uzyskanie pożądanego profilu twardości są odpowiednio: częstotliwość, moc, czas cyklu, geometria wzbudnika oraz warunki chłodzenia. Zastosowanie układu dwuczęstotliwościowego w procesie podgrzewania przed hartowaniem umożliwia uzyskanie równomiernego rozkładu temperatury na powierzchni koła zębatego, co nie jest możliwe dla układu jednoczęstotliwościowego. Uzyskanie równomiernego rozkładu temperatury jest ściśle powiązane z głębokością wnikania prądów wirowych, która maleje wraz ze wzrostem częstotliwości prądu zasilającego wzbudnik.

Z opisów zgłoszeń patentowych EP 1 363 474 A2, EP 2 147 983 A1, EP 2 148 551 A1 znane są układy do dwuczęstotliwościowego nagrzewania indukcyjnego. W pierwszym przypadku układ składa się z dwóch 1-fazowych falowników napięcia, z których każdy zasilany jest z sieci 3-fazowej za pomocą niezależnego prostownika. Układ zawiera dwa oddzielne transformatory dopasowujące, odpowiednio dla składowych prądu średniej (MF) i wysokiej (HF) częstotliwości. Strony pierwotne transformatorów podłączone są do wyjść falowników, a strony wtórne do obwodów rezonansowych odpowiednio MF i HF. Drugi przypadek dotyczy układu, który składa się z dwóch 1-fazowych falowników napięcia, zasilanych z sieci 3-fazowej za pomocą pojedynczego prostownika. Układ zawiera dwa oddzielne transformatory dopasowujące oraz uproszczony, względem pierwszego przypadku, obwód rezonansowy MF. W ostatnim przypadku układ do dwuczęstotliwościowego nagrzewania indukcyjnego składa się z pojedynczego 1-fazowego falownika napięcia, zasilanego z sieci 3-fazowej za pomocą pojedynczego prostownika. W tym przypadku występuje pojedynczy transformator dopasowujący. Przedstawione rozwiązania w istotnym stopniu różnią się od rozwiązania będącego przedmiotem wynalazku. Różnice te dotyczą m.in. liczby i rodzaju użytych przekształtników energoelektronicznych oraz topologii obwodów rezonansowych. Przykładowo w żadnym z wymienionych zgłoszeń patentowych opisujących układy do dwuczęstotliwościowego nagrzewania indukcyjnego nie stosuje się 3-fazowych falowników napięcia.

Celem wynalazku jest opracowanie takiego urządzenia, które pozwoli na indukcyjne nagrzewanie elementów o nieregularnym kształcie, przed hartowaniem.

Istotą wynalazku jest urządzenie do dwuczęstotliwościowego nagrzewania indukcyjnego zawierające zasilany z sieci 3-fazowej prostownik, który poprzez falownik napięcia zasila obwód rezonansowy, którego wyjście podłączone jest do wzbudnika, gdzie układ pomiarowo-sterujący przyłączony jest do prostownika, falownika oraz obwodu rezonansowego charakteryzujące się tym, że pomiędzy prostownikiem a wejściami pierwotnymi transformatorów ma jeden 3-fazowy falownik napięcia, o budowie trzech sterowanych półmostków tranzystorowych. Korzystnie do wyjść falownika podłączone są stronami pierwotnymi dwa transformatory dopasowujące Tr1 oraz Tr2. Korzystnie do wyjść półmostka oraz półmostka podłączony jest stroną pierwotną transformator dopasowujący Tr1 który z kolei stroną wtórną, jednym zaciskiem przez dławik L1 oraz kondensator C1 a drugim zaciskiem bezpośrednio połączony jest ze stroną pierwotną transformatora dopasowującego Tr3. Korzystnie do wyjść półmostka oraz półmostka podłączony jest stroną pierwotną transformator dopasowujący Tr2 który z kolei stroną wtórną,

jednym zaciskiem przez kondensator C2 a drugim zaciskiem bezpośrednio połączony jest ze stroną pierwotną transformatora dopasowującego Tr3. Korzystnie transformator dopasowujący Tr3 stroną wtórną przyłączony jest do wzбудnika.

Urządzenie umożliwia niezależne sterowanie mocy składowych MF i HF, np. za pomocą metody FM oraz pozwala zarówno na jednoczesne (SDF), jak i sekwencyjne (PDF) nagrzewanie dwuczęstotliwościowe. Dla przypadku PDF falownik pracuje w konfiguracji pełnego mostka tranzystorowego dla każdej składowej.

Zaletą urządzenia według wynalazku jest zapewnienie możliwości niezależnego sterowania mocy składowych MF i HF przy wykorzystaniu topologii 3-fazowego falownika napięcia wraz z niezależnymi transformatorami dopasowującymi, przez co konstrukcja urządzenia jest tania i prosta. Urządzenie według wynalazku nie wymaga stosowania dodatkowych przekształtników energoelektronicznych, tj. niezależnych falowników napięcia. Możliwość sterowania mocy każdej ze składowych jest zapewniona poprzez zastosowanie pojedynczego 3-fazowego falownika napięcia.

Urządzenie przeznaczone jest do zastosowania zwłaszcza w indukcyjnym nagrzewaniu wstępnym przed hartowaniem elementów o nieregularnym kształcie, np. kół zębatach. Urządzenie według wynalazku łączy korzystne cechy rozwiązań dwu i jedno falownikowych, m.in. umożliwiając realizację procesu nagrzewania dwuczęstotliwościowego w dwóch wariantach: jednoczesnym (SDF) i sekwencyjnym (PDF).

Urządzenie według wynalazku przedstawione jest w przykładowym wykonaniu na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia urządzenie w ujęciu schematycznym, Fig. 2 przedstawia fragment urządzenia z Fig. 1, Fig. 3 przedstawia przebiegi napięć po stronach pierwotnych transformatorów dopasowujących Tr₁ (11) i Tr₂ (13) dla przypadków SDF i PDF oraz Fig. 4 przedstawia przebiegi poszczególnych prądów i_1 oraz i_2 po stronach pierwotnych transformatorów oraz prądu i gałęzi wspólnej stanowiącego przypadek tożsamy z prądem płynącym przez wzbudnik (5) po uwzględnieniu przekładni transformatorów dopasowujących Tr₁ (11), Tr₂ (13) i Tr₃ (15) zależnie od przypadku pracy (Fig. 4).

Urządzenie do dwuczęstotliwościowego nagrzewania indukcyjnego składa się z prostownika (2) zasilanego z sieci 3-fazowej (1). Prostownik (2) poprzez 3-fazowy falownik napięcia (3) zasila obwód rezonansowy (4) którego wyjście podłączone jest do wzbudnika (5). Dodatkowo, układ pomiarowo-sterujący (6) urządzenia przyłączony jest do prostownika (2), falownika (3) oraz obwodu rezonansowego (4). Na Fig. 2 zamieszczono szczegóły falownika (3) i obwodu rezonansowego (4) które połączone są jak następuje.

Znany 3-fazowy falownik napięcia (3) przyłączony do prostownika (2) poprzez szynę DC (7) składa się z trzech półmostków tranzystorowych (8), (9) i (10).

Do wyjść półmostka (8) oraz półmostka (10) podłączony jest stroną pierwotną transformator dopasowujący Tr₁ (11) który z kolei stroną wtórną, jednym zaciskiem przez dławik L_7 oraz kondensator C_7 (12) a drugim zaciskiem bezpośrednio połączony jest ze stroną pierwotną transformatora dopasowującego Tr₃ (15) co tworzy podobwód rezonansowy średniej częstotliwości MF.

Do wyjść półmostka (9) oraz półmostka (10) podłączony jest stroną pierwotną transformator dopasowujący Tr₂ (13) który z kolei stroną wtórną, jednym zaciskiem przez kondensator C₂ (14) a drugim zaciskiem bezpośrednio również połączony jest ze stroną pierwotną transformatora dopasowującego Tr₃ (15) co tworzy podobwód rezonansowy wysokiej częstotliwości HF.

Transformator dopasowujący Tr₃ (15) stroną wtórną przyłączony jest do wzbudnika (5).

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do dwuczęstotliwościowego nagrzewania indukcyjnego zawierające zasilany z sieci 3-fazowej prostownik, który poprzez falownik napięcia zasila obwód rezonansowy, którego wyjście podłączone jest do wzbudnika, gdzie układ pomiarowo-sterujący przyłączony jest do prostownika, falownika oraz obwodu rezonansowego **znamiennie tym**, że pomiędzy prostownikiem (2) a wejściami pierwotnymi transformatorów (11) i (13) ma jeden 3-fazowy falownik napięcia (3), o budowie trzech sterowanych półmostków tranzystorowych (8), (9) i (10).
2. Urządzenie według zastrz. 1 **znamiennie tym**, że do wyjść falownika podłączone są stronami pierwotnymi dwa transformatory dopasowujące Tr₁ (11) oraz Tr₂ (13).
3. Urządzenie według zastrz. 1 lub 2 **znamiennie tym**, że do wyjść półmostka (8) oraz półmostka (10) podłączony jest stroną pierwotną transformator dopasowujący Tr₁ (11) który z kolei stroną

- wtórny, jednym zaciskiem przez dławik L_1 oraz kondensator C_1 (12) a drugim zaciskiem bezpośrednio połączony jest ze stroną pierwotną transformatora dopasowującego Tr_3 (15).
4. Urządzenie według zastrz. 1, 2 lub 3 **znamiennie tym**, że do wyjść półmostka (9) oraz półmostka (10) podłączony jest stroną pierwotną transformator dopasowujący Tr_2 (13) który z kolei stroną wtórny, jednym zaciskiem przez kondensator C_2 (14) a drugim zaciskiem bezpośrednio połączony jest ze stroną pierwotną transformatora dopasowującego Tr_3 (15).
 5. Urządzenie według zastrz. 1, 2, 3 lub 4 **znamiennie tym**, że transformator dopasowujący Tr_3 (15) stroną wtórny przyłączony jest do wzбудnika (5).

Rysunki

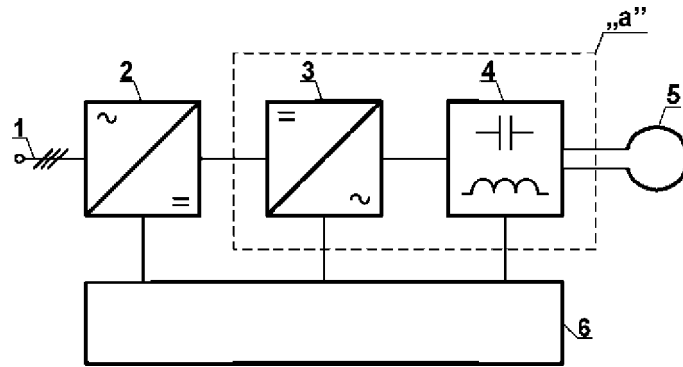


Fig. 1

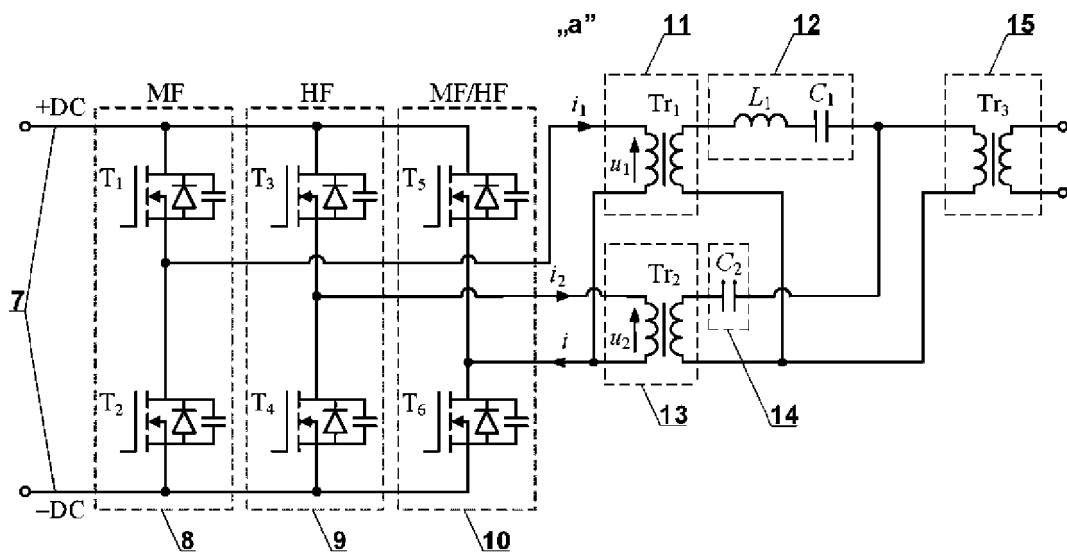
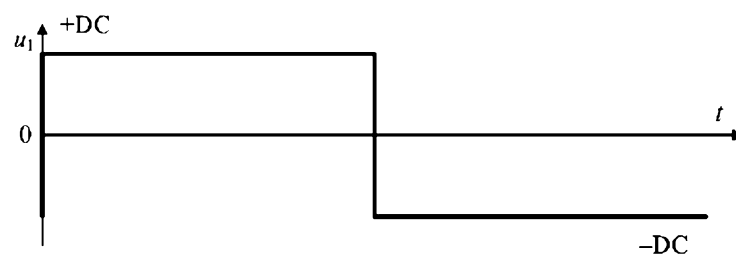
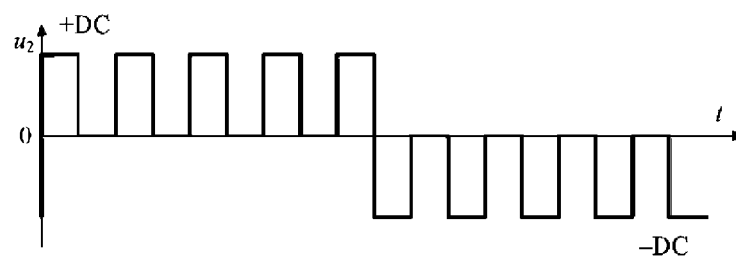


Fig. 2

a)



b)



c)

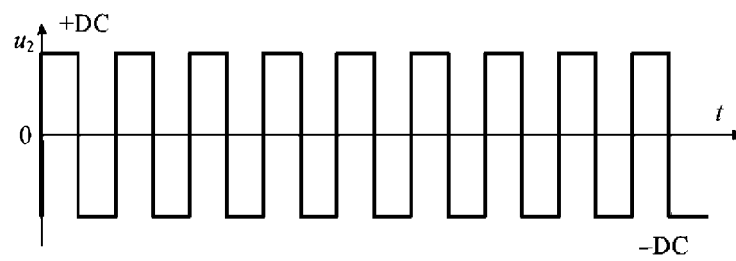
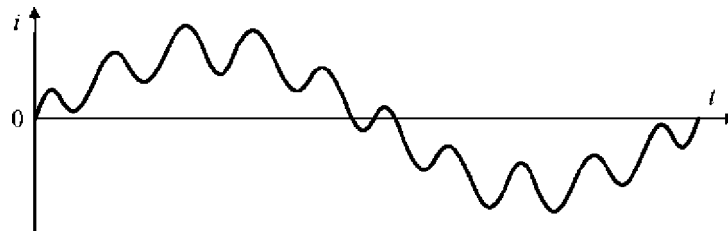
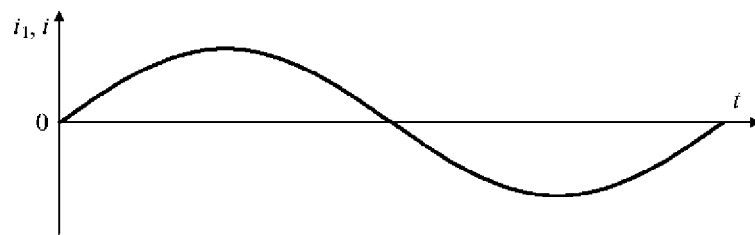


Fig. 3

a)



b)



c)

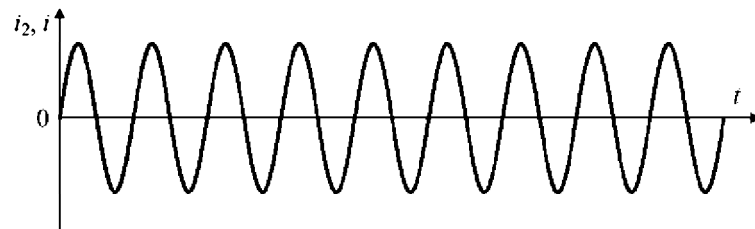


Fig. 4