

ANDRZEJ FRĄCZYK, TOMASZ JAWORSKI
Politechnika Łódzka, Instytut Informatyki Stosowanej

STANOWISKO DWUCZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO GENERATORA DO NAGRZEWANIA INDUKCYJNEGO

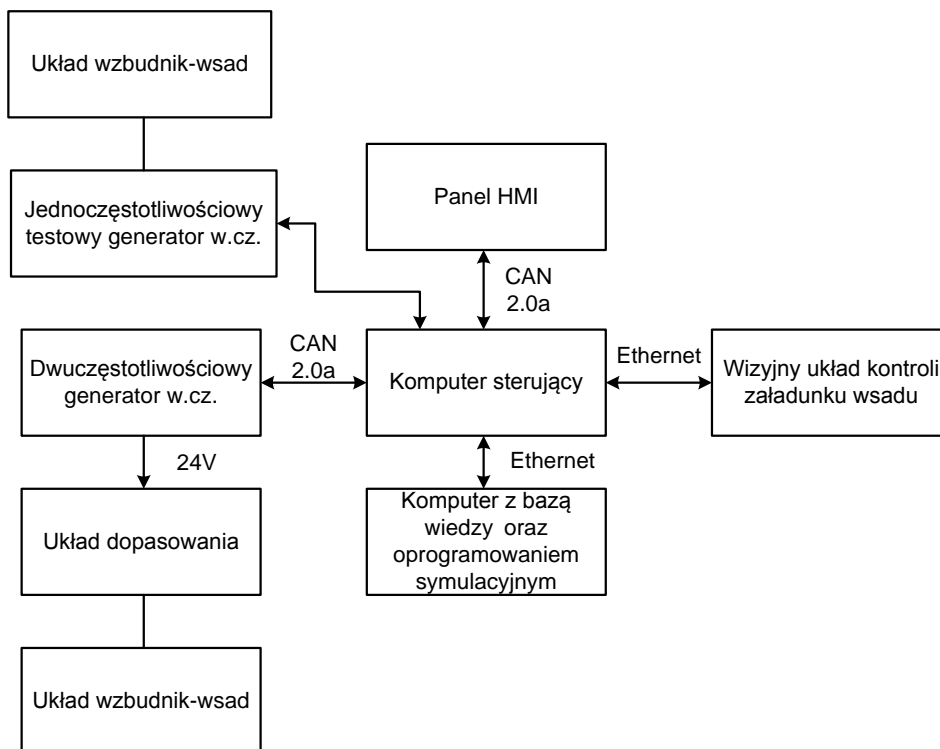
Generatory dwuczęstotliwościowe znajdują coraz szersze zastosowanie w procesach obróbki cieplnej wykorzystujących nagrzewanie indukcyjne. W artykule przedstawiono opis prototypowego stanowiska badawczego służącego do nagrzewania indukcyjnego z zastosowaniem generatora dwuczęstotliwościowego, umożliwiającego m.in. hartowanie konturowe. Stanowisko to zawiera rozbudowane układy sterowania i wnioskowania, umożliwiające znaczną automatyzację realizowanych procesów technologicznych.

WPROWADZENIE

Generatory dwuczęstotliwościowe są jednym z typów generatorów wykorzystywanych do nagrzewania indukcyjnego. W porównaniu z generatorami jednoczęstotliwościowymi pozwalają one na dokładniejsze kontrolowanie procesu nagrzewania warstw materiału znajdujących się na różnych głębokościach. Taka specyfika działania umożliwia między innymi obróbkę cieplną wsadów o skomplikowanych kształtach, takich jak koła zębate. Generatory dwuczęstotliwościowe stawiają jednak projektantom wyższe wymagania konstrukcyjne. Wymagania te stają się szczególnie trudne do spełnienia w przypadku stosowania generatorów w procesach o dużej zmienności parametrów obciążenia, którym jest wzbudnik ze wsadem. Zastosowanie do nagrzewania indukcyjnego dwóch częstotliwości wymaga także złożonych systemów pomiaru i sterowania. W niniejszym artykule przedstawiono budowę prototypowego stanowiska inteligentnego, dwuczęstotliwościowego generatora do nagrzewania indukcyjnego, konstruowanego w ramach projektu badawczego PBS1/A4/2/2012 przez Instytut Informatyki Stosowanej Politechniki Łódzkiej oraz Zakład Elektroniki Przemysłowej Enika Sp. z o.o..

1. STRUKTURA STANOWISKA DWUCZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO GENERATORA DO NAGRZEWANIA INDUKCYJNEGO

Schemat budowy stanowiska badawczego przedstawia rysunek 1.



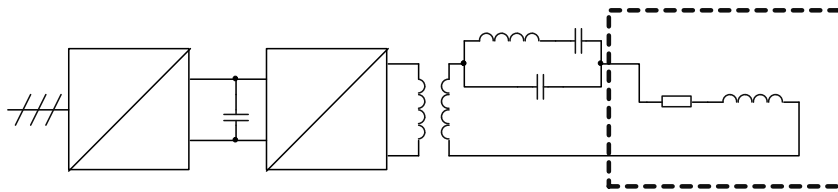
Rys. 1. Schemat budowy stanowiska badawczego

Ze względu na prototypowy charakter budowanego stanowiska założono modułowość jego struktury z wykorzystaniem autonomicznych urządzeń i układów oraz systemem wzajemnej komunikacji. Jednocześnie wybór standardów poszczególnych elementów oraz podział ich zadań i funkcjonalności [art. PU], zapewnia łatwość wdrożenia układu w postaci zwartego urządzenia przemysłowego, co jest jednym z podstawowych założeń projektowych. Głównymi elementami stanowiska są generator dwuczęstotliwościowy, będący podstawowym członem wykonawczym układu oraz komputer sterujący pracą tego generatora. Układ dopasowania, pełniący rolę interfejsu pomiędzy generatorem a układem wzbudnik-wsad, ma za zadanie dostosowanie parametrów elektrycznych układu grzejącego w szerokim zakresie zmian warunków pracy. Z kolei komputer sterujący dzięki współpracy z systemem

symulacyjno-wnioskującym wykorzystującym bazę wiedzy, umożliwia wysoki poziom automatyzacji i „inteligencji” działania układu. Stanowisko wyposażone jest także w profesjonalny panel operatorski, a także wizyjny układ kontroli załadunku wsadu. Poszczególne elementy składowe stanowiska oraz komunikacja pomiędzy nimi przedstawiono w dalszej części artykułu.

2. ELEMENTY SKŁADOWE STANOWISKA

Do nagrzewania indukcyjnego w opisywanym stanowisku zastosowany zostanie generator dwuczęstotliwościowy o strukturze przedstawionej na rysunku 2.



Rys. 2. Struktura zastosowanego falownika dwuczęstotliwościowego

W układzie z rys. 2 falownik zbudowany w oparciu o tzw. pełen mostek zasila układ wzbudnik-wsad (ICS) poprzez obwód sprzęgający LCC stanowiący element 3-go rzędu [1]. Wartości indukcyjności i pojemności obwodu sprzęgającego dobiera się tak, aby wraz z indukcyjnością układu ICS występowały dwie wcześniej zdefiniowane częstotliwości rezonansu szeregowego MF i HF. Elementy gałęzi L1, C1 stanowią wraz układem ICS obwód rezonansu szeregowego o niższej częstotliwości (MF), natomiast gałąź pojemności C2 wraz układem ICS stanowi układ rezonansu szeregowego o wyższej częstotliwości pracy (HF). Poprzez odpowiednie sterowanie pracą falownika wykorzystujące jednoczesne nakładanie się i wzajemną modulację dwóch sygnałów sterujących uzyskuje się w układzie ICS prąd będący sumą dwóch przebiegów o różnej wartości amplitud poszczególnych częstotliwości. Regulację mocy doprowadzanej do układu ICS można realizować np. poprzez zmianę amplitudy sygnału w przypadku częstotliwości niższej MF oraz odstrojenie od częstotliwości rezonansu w przypadku częstotliwości wyższej HF. Prosty i przejrzysty układ falownika umożliwia jednoczesną, płynną regulację mocy każdej z częstotliwości osobno w całym zakresie oraz praktycznie dowolny podział mocy między częstotliwościami pracy.

Zadaniem układu dopasowania jest zapewnienie impedancji wyjściowej falownika odpowiadającej impedancji obciążenia, które stanowi układ wzbudnik-wsad. Rolę układu dopasowania pełnią połączone ze sobą bloki

transformatorów, zapewniających separację i zmianę przekładni elektrycznej, jednej lub więcej gałęzi zawierających indukcyjność oraz pojemność. Żądana w danych warunkach pracy topologia układu dopasowania określana będzie przez komputer sterujący na podstawie informacji uzyskanych z bazy wiedzy współpracującej z oprogramowaniem symulacyjnym.

Komunikacja z operatorem zrealizowana będzie przy zastosowaniu panelu operatorskiego ENI-P01024/768. Umożliwia on zadawanie parametrów pracy układu np. przebiegu mocy dostarczanej do wsadu w czasie z uwzględnieniem jej rozkładu na poszczególne częstotliwości robocze. Podstawowe parametry techniczne panelu są następujące:

- wyświetlacz: matryca TFT, 262 tys. kolorów, rozmiar 10”, rozdzielczość 1024x768 pixeli,
- oddziaływanie operatora: ekran dotykowy, 4 klawisze funkcyjne,
- interfejsy komunikacyjne: CAN, USB (możliwość podłączenia urządzenia magazynujące USB w celu archiwizacji danych).

Komputer sterujący będzie odpowiedzialny za zarządzanie właściwym działaniem całego systemu oraz pośredniczenie w komunikacji pomiędzy elementami składowymi stanowiska. Na stanowisku prototypowym będzie to klasyczny komputer PC, wyposażony w odpowiednie interfejsy komunikacyjne. W zastosowaniach przemysłowych opisywanego stanowiska planowane jest zastąpienie go dedykowanym układem mikroprocesorowym. Główne zadania realizowane przez komputer sterujący to:

- sterowanie generatorem w.cz.,
- obsługa bazy wiedzy oraz oprogramowania symulacyjnego,
- sterowanie układem dopasowania,
- obsługa panelu HMI,
- obsługa układu kontroli załadunku wsadu.

Kolejnym elementem stanowiska jest komputer realizujący procedury wnioskowania w oparciu o bazę wiedzy oraz wykorzystujący oprogramowanie symulacyjne. Głównym zadaniem tego elementu układu jest zapewnienie wysokiego stopnia automatyzacji przeprowadzania różnego typu procesów nagrzewnia poprzez wprowadzenie do systemu rozwiązań z obszaru sztucznej inteligencji. Planowane jest wyposażenie systemu w procedury przyrostowej budowy bazy wiedzy na temat przebiegu różnych procesów technologicznych oraz mechanizmy uczenia się na podstawie przeprowadzanych dotychczas procesów, a także z wykorzystaniem wyników symulacji układów nagrzewnia. Ze względu na zakres i stopień złożoności realizowanych przez ten element stanowiska zadań będzie to wysokowydajny komputer klasy PC (procesor i7, 32GB RAM, dysk SSD).

Układ kontroli załadunku wsadu zrealizowany będzie w postaci kamery wizyjnej oraz dodatkowych czujników. Warunkował on będzie możliwość

uruchomienia generatora w.cz. przesyłając do komputera sterującego informację o wykryciu nieprawidłowości w załadunku wsadu (jego braku lub niezgodności z zadeklarowanym przez użytkownika typem wsadu).

Ze względu na zakładaną dodatkową funkcjonalność obejmującą identyfikację parametrów materiałowych wsadu opisywane stanowisko zostanie wyposażone w klasyczny jednoczęstotliwościowy testowy generator w.cz. O jego załączeniu decydował będzie operator stanowiska, natomiast wyniki przeprowadzonego eksperymentu identyfikacji zapisywane będą, za pośrednictwem komputera sterującego, w bazie danych.

3. KOMUNIKACJA POMIĘDZY POSZCZEGÓLNYMI ELEMENTAMI SKŁADOWYMI STANOWISKA

Do komunikacji pomiędzy komputerem sterującym a sterownikami generatorów w.cz., ze względu na możliwość występowania znacznych zakłóceń elektromagnetycznych, zdecydowano się zastosować przemysłowy protokół CAN [2,3] w wersji 2.0a. W związku z tym, iż konieczne będzie przesyłanie znacznej ilości danych, protokół ten będzie pracował z prędkością 1Mbps. Dlatego komputer sterujący wyposażony zostanie w konwerter USB2CAN firmy Sygmi.

Komunikacja pomiędzy ww. elementami stanowiska będzie dwustronna. Komputer sterujący będzie przysyłał do generatora informacje o m.in. żądanej zmianie stanu generatora (test, praca, stan oczekiwania, wyłączenia), dołączonym typie wzbudnika, konfiguracji układu dopasowującego, minimalnej i maksymalnej wartości częstotliwości, przebiegu w czasie żądanych wartości mocy i częstotliwości. Generator z kolei będzie przysyłał do komputera sterującego m.in. informacje o swoim stanie, aktualnych wartościach częstotliwości i mocy, wyniki testu w postaci przebiegów prądów i napięć w funkcji częstotliwości oraz informacje umożliwiające diagnostykę nieprawidłowości działania generatora (np. w przypadku wykrycia zbyt wysokiej temperatury cieczy chłodzącej generator).

Przełączanie topologii układu dopasowującego realizowane będzie na podstawie informacji przesłanych z komputera sterującego do generatora przy zastosowaniu zespołu styczników, sterowanych przez generator napięciem 24V.

Komunikacja pomiędzy komputerem sterującym a komputerem obsługującym bazę wiedzy i oprogramowanie symulacyjne zrealizowana będzie na bazie technologii Gigabit Ethernet i protokołu TCP/IP.

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono koncepcję budowy prototypowego stanowiska badawczego umożliwiającego prace nad inteligentnym generatorem dwuczęstotliwościowym do nagrzewania indukcyjnego. Omówiono planowaną strukturę układu oraz ważniejsze rozwiązania sprzętowe na tle ich zadań i funkcjonalności. Jednym z ważniejszych założeń projektowych systemu jest zapewnienie konfigurowalności układu na etapie prototypowania z jednoczesnym zachowaniem łatwości jego wdrożenia w postaci zwartego urządzenia przemysłowego.

LITERATURA

- [1] Esteve V., Jordan J., Dede E.J., Sanchis-Kilders E., Maset E.: (2006). Induction heating inverter with simultaneous dual-frequency output, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2006. APEC '06. Twenty-First Annual IEEE, 19-23 March 2006, pp. 1505-1509.
- [2] ISO 11898-1:2003 Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 1: Data link layer and physical signaling.
- [3] ISO 11898-2:2003 Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 2: High-speed medium access unit.

Praca współfinansowana ze środków NCBiR w ramach projektu Badań Stosowanych nr umowy PBS1/A4/2/2012.

EXPERIMENTAL SET-UP OF TWO-FREQUENCY GENERATOR FOR INDUCTION HEATING

SUMMARY

Two-frequency generators are widely used in various thermal processes with induction heating. In the paper an experimental set-up for designing and prototyping of two-frequency induction heating has been presented. The proposed solution embrace advanced control and inference mechanisms enabling effective induction heating of different type, eg. for contour hardening. High level of automatization of technological process was ensured.

Keywords: two-frequency induction heating, intelligent generators.