ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1973

Seria: ELEKTRYKA z. 42 Nr kol. 402

Ludwik Hirszberg
Eligiusz Pasecki

Instytut Metrologii
i Maszyn Elektrycznych

URZĄDZENIE DO POMIARÓW TEMPERATURY WIRNIKÓW SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH

Streszczenie. Układ służy do pomiaru temperatury klatek wirników silników indukcyjnych o mocy od 100 do 1000 kW. Informacje z pięciu czujników przesyłane są łączem radiowym do odbiornika. Wyniki pomiarów przekazywane są przez wskaźniki cyfrowe typu nixi oraz zapisywane techniką taśmy perforowanej.

1. Wstęp

Przy projektowaniu silników elektrycznych, potrzebna jest znajomość dynamicznych przyrostów temperatury występujących w elementach silników. Rozkład dynamicznych przyrostów temperatury determinuje naprężenia mechaniczne występujące w elementach i w ten sposób wpływa na rodzaj materiału oraz wymiary.

Stosunkowo prosty jest pomiar i przesył informacji o temperaturze elementów nie będących w ruchu. Dla elementów ruchomych pomiar się znacznie komplikuje ze względu na przekazywanie informacji do wskaźnika nie będącego w ruchu.

Dotychczas rozkład temperatury w wirnikach silników określany jest z dużym przybliżeniem na podstawie wzorów empirycznych. Do obliczeń przyjmowane są duże współczynniki bezpieczeństwa powiększające wymiary i ciężar silników elektrycznych.

Omówione przyczyny wpłynęły na potrzebę wykonania odpowiedniego przyrządu pomiarowego.

Opisywane urządzenie dostosowane jest do pomiarów temperatury silników indukcyjnych o mocy od 100 do 1000 kW. Maksymalne temperatury elementów, występujące w takich silnikach, są niższe do 300°C i są osiągane przez pręty klatek w trakcie rozruchu. Czas trwania rozruchu, w zależności od wielkości silnika, wynosi od kilku do kilkunastu sekund. Żądana niedokładność pomiaru powinna wynosić ± 5°C dla temperatury do 200°C i ± 10°C dla temperatur wyższych od 200°C.

Urządzenie pomiarowe składa się z dwóch części: nadawczej i odbiorczej. Część nadawcza musi być umocowana na wirniku silnika elektrycznego. W celu określenia miejsca umocowania oraz gabarytów części nadawczej przeanalizowano dokumentacje silników aktualnie produkowanych i prototypowych

przewidzianych do produkcji w najbliższym czasie. Jako najdogodniejszy do umocowania części nadawczej uznany został odcinek wału przy pakiecie blach od strony wentylatora.

W skład części odbiorczej wchodzi odbiornik i układ przetwarzania ze wskaźnikiem cyfrowym oraz perforatorem. Odbiornik umocowany jest w środku, a pozostałe podzespoły części odbiorczej znajdują się na zewnątrz silnika.

2. Warunki pracy urządzenia pomiarowego

Część nadawcza oraz odbiornik z części odbiorczej są zabudowywane wewnątrz silnika elektrycznego. Warunki pracy tych podzespołów są bardzo złożone.

Układ elektryczny będzie pracował w obecności pola elektromagnetycznego o zmiennym natężeniu oraz iskrzenia - dających bardzo silne zakłócenia sygnału pomiarowego w szerokim zakresie częstotliwości. Zasięg wpływów tych czynników na pracę urządzenia trudno jest określić teoretycznie, ich eliminację przeprowadzono dopiero na wykonanym prototypie.

Do budowy urządzenia wykorzystano cyfrowe i liniowe układy scalone, tranzystory oraz inne elementy, które zmieniają swe własności pod wpływem temperatury otoczenia. Badane silniki są chłodzone powietrzem, wobec tego poprawność pracy musi być zapewniona od 20°C (przeciętna temperatura pomieszczenia, w której znajduje się silnik) do 80°C (maksymalna dopuszczalna temperatura czynnika chłodzącego). W przypadkach awarii należy się liczyć z temperaturami wyższymi od 80°C. Z tego względu układ został tak zaprojektowany i wykonany, że wytrzymuje temperatury do 120°C bez zapewnienia wymaganej dokładności pomiaru powyżej 80°C.

Elementy części nadawczej, łącznie ze źródłami zasilania i przewodami łączącymi, narażone są na zmienne naprężenia mechaniczne pochodzące od przyspieszenia odśrodkowego, przyspieszenia liniowego oraz drgań wału.

Ze względu na ograniczenie miejsca układ elektryczny nie może być rozbudowany. Pobór energii elektrycznej powinien być jak najmniejszy, ponieważ źródła zasilania, baterie i akumulatory muszą być umocowane na wale.

Część nadawcza musi być dostosowana do zamocowywania na wałach o średnicach od 130 do 260 mm.

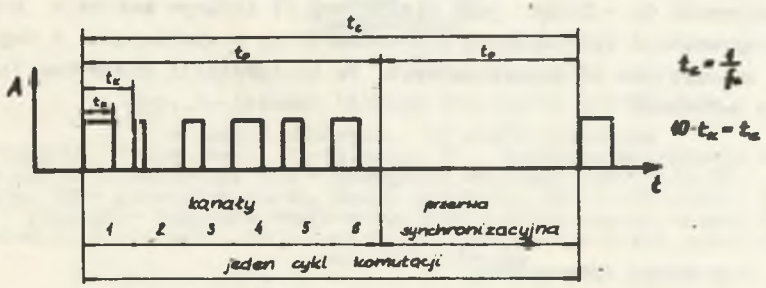
3. Zasada działania urządzenia pomiarowego

Przesyłanie informacji z elementów wirujących może odbywać się przewodowo, np. za pomocą szczotek i pierścieni ślizgowych lub łączem radiowym. Ze względu na uniwersalność urządzenia pomiarowego, które ma być dostosowane do silników o różnych wymiarach, zdecydowano się na przesyłanie informacji drogą radiową.

Przy wyborze układu pomiarowego kierowano się:
- prostotą układu,
- pewnością działania,
- zapewnieniem odpowiedniej dokładności pomiaru,
- małym poborem energii zasilania przez część nadawczą,
- możliwością miniaturyzacji,
- możliwością zastosowania czujników do pomiaru innych wielkości niż temperatura,
- możliwością opracowywania wyników pomiarowych przez maszynę cyfrową.

Ze względu na warunki elektryczne, w jakich ma pracować urządzenie do przesyłu sygnału pomiarowego, wybrana została modulacja szerokości impulsu. Modulacja ta odznacza się niewrażliwością na zakłócenia i wahania natężenia pola elektromagnetycznego. Umożliwia ona bezbłędne przekazanie informacji w systemie rozdzielczo czasowym kilku sygnałów pomiarowych.

Szerokość impulsu stanowi informację o wartości wielkości mierzonej (rys. 1). Po przekazaniu informacji ze wszystkich kanałów pomiarowych, co nazywamy cyklem komutacji, następują nowe cykle przekazywania informacji (komutacji). W celu identyfikacji rozpoczęcia nowego cyklu komutacji wprowadzona została wyróżniona przerwa, nazywana przerwą synchronizacyjną. W każdym cyklu komutacji informacje kanałowe są przesyłane w ściśle określonej i ciągle tej samej kolejności, dlatego wiadomo, której wielkości dany impuls dotyczy.



Rys. 1. Modulacja szerokości impulsów w systemie rozdzielczo czasowym

Charakterystyczną cechą obranego sposobu przetwarzania jest pomiar chwilowych wartości temperatury w określonym kanale, co okres t_c równy czasowi trwania cyklu komutacji.

Dolna częstotliwość cyklu komutacji wynika z założonej dokładności odtworzenia sygnału ciągłego na podstawie znanych jego wartości chwilowych. Przy opracowywaniu wyników pomiarowych z taśmy perforowanej zachodzi po-

trzeba odtworzenia przebiegu temperatury w czasie za pomocą aproksymacji liniowej. Wymaganą częstotliwość pomiaru dla sygnału wykładniczego w przypadku aproksymacji liniowej określa wyrażenie

$$f_c \geqslant \frac{4}{\tau\sqrt{\delta_c}}, \tag{1}$$

gdzie

τ - stała czasowa przebiegu wykładniczego,

δ_c - względny błąd aproksymacji w %.

W rozważanym przypadku $\delta_c = 1\%$, $\tau_{min} = 2$ s, więc minimalna częstotliwość komutacji, określona jest maksymalną szybkością zapisu perforatora. Typowa szybkość rejestracji dla perforatorów taśmy wynosi N=50 wierszy/s. Częstotliwość informacji kanałowych f_k jest dziesięć razy większa od częstotliwości cyklu informacji, czyli

$$f_c \leqslant \frac{N}{10}. \tag{2}$$

Dla N = 50 maksymalna częstotliwość komutacji wynosi 5 Hz. Dla omawianego urządzenia została wybrana częstotliwość $f_c = 2{,}5$ Hz.

Dla zapewnienia punktowego pomiaru temperatury wykorzystano termoelementy Cu - Konst. Czujniki te wyróżniają się powtarzalnymi charakterystykami statycznymi oraz małymi stałymi czasowymi. Charakterystyka statyczna termoelementu Cu - Konst. jest nieliniowa. W zadanym zakresie pracy można przeprowadzić linearyzację jednoodcinkową, a wynikające z tego powodu błędy są mniejsze od dopuszczalnych. Po linearyzacji spełniona jest następująca zależność

$$E_x = k' T_x, \tag{3}$$

gdzie

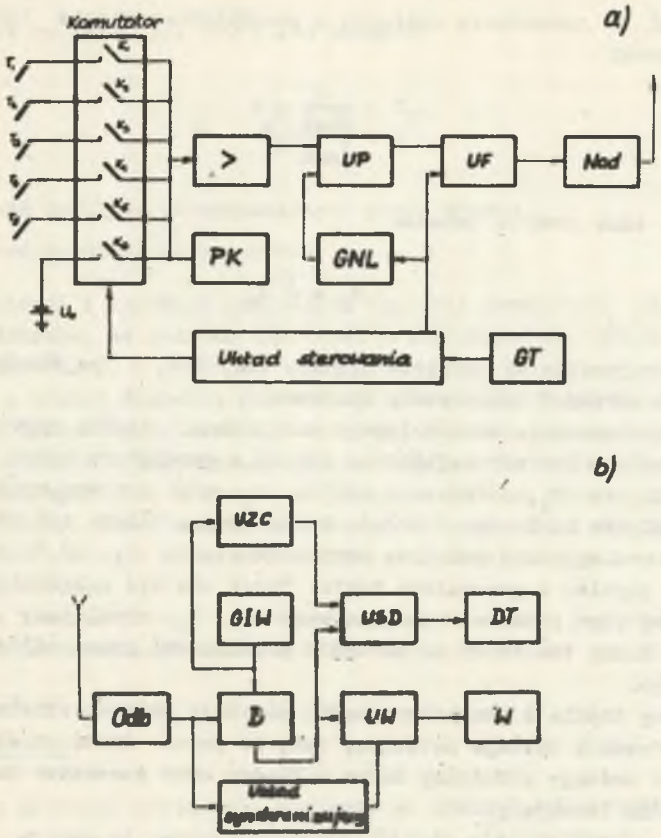
T_x - mierzona temperatura,

E_x - SEM na końcach termoelementu,

k' - współczynnik proporcjonalności.

Ponieważ temperatura otoczenia zmienia się w bardzo szerokim zakresie, dlatego w szereg z termoelementem włączona jest mostkowa przystawka korekcyjna zrównoważona dla temperatury odniesienia wynoszącej 20°C.

W wyniku przeprowadzonych prac studialnych i eksperymentalnych wybrany został do realizacji układ, którego schemat blokowy pokazany jest na rysunku 2.



Rys. 2. Schemat blokowy urządzenia pomiarowego
a) część nadawcza, b) część odbiorcza
T - czujniki temperatury, K - klucze, PK - mostkowa przystawka korekcyjna, UP - układ porównawczy, GNL - generator napięcia liniowego, UF - układ formujący, GT - generator taktu, Nad - nadajnik, Odb - odbiornik, B - bramka, GIW - generator impulsów wzorcowych, UZC - układ zapisu czasu, USD - układ sterowania dziurkarki, DT - dziurkarka taśmy, UW - układ wybiorczy, W - wskaźnik cyfrowy

Sygnały pomiarowe z termoelementów podawane są na klucze komutatora. Klucze pobudzane są przez układ sterowania. Załóżmy, że został włączony klucz K_4. Sygnał z czujnika T_4 podawany jest przez klucz K_4 i mostkową przystawkę korekcyjną na układ porównujący. Równocześnie z włączeniem klucza K_4 został wyzwolony generator napięcia liniowego oraz układ formujący. W wyniku nadajnik wysyła sygnał w.cz., który jest zmodulowany impulsem o szerokości proporcjonalnej do wartości wielkości mierzonej. Sygnał ten trwa tak długo, dopóki układ porównujący w momencie zrównania się sygnałów z generatora napięcia liniowego i napięcia proporcjonalnego do wielkości mierzonej nie przełączy układu formującego.

Szybkość k narastania napięcia z generatora napięcia liniowego jest stała i wynosi

$$k = \frac{E_{max}}{t_{max}} \frac{E_x}{t_x} \tag{4}$$

Wobec tego czas trwania impulsu

$$t_x = \frac{1}{k} E_x \tag{5}$$

jest proporcjonalny do napięcia sygnału czujnika, a tym samym na podstawie (3) do wartości temperatury mierzonej.

Po wyłączeniu układu formującego nadajnik nie wysyła sygnału wielkiej częstotliwości. Dopiero najbliższy impuls z generatora taktu powoduje wyłączenie klucza K_4, załączenie klucza K_5 oraz ponowne wyzwolenie generatora napięcia liniowego i układu formującego. Dalszy tok czynności powtarza się analogicznie jak przy włączonym kluczu K_4, aż do pojawienia się kolejnego impulsu z generatora taktu. Teraz zostaje załączony klucz K_6, przez który jest podawane napięcie wzorcowe U_o symulujące wybraną temperaturę. Kanał ten służy do kontroli poprawności pracy całego urządzenia pomiarowego.

Następny impuls z generatora taktu powoduje przerwę synchronizacyjną. Układ sterowania zostaje ustawiony tak, że przez okres trwania czterech taktów nie zostaje pobudzony żaden z kluczy oraz generator napięcia liniowego i układ formujący.

Po zakończeniu przerwy synchronizacyjnej następuje nowy cykl komutacji, w trakcie którego kolejno są włączane klucze i następuje modulacja szerokości impulsu przez sygnały informujące o wartościach temperatury w poszczególnych kanałach.

Układ odbiorczy ma za zadanie przejąć sygnały radiowe z nadajnika i przetworzyć je na sygnały, które bezpośrednio sterują wskaźnik cyfrowy i perforator taśmy.

Odbiornik służy do przyjęcia sygnałów wielkiej częstotliwości z nadajnika i ich detekcji na sygnał małej częstotliwości. Sygnały małej częstotliwości sterują bramką, przez którą przechodzą impulsy z generatora impulsów wzorcowych. Bramka przepuszcza ilość impulsów wprost proporcjonalną do czasu jej otwarcia.

$$N = \frac{t_x}{t_w} \tag{6}$$

Na podstawie relacji (3), (5) i (6) zachodzi

$$N = \frac{k'}{k\ t_w} \cdot T_x, \tag{7}$$

gdzie

N - ilość impulsów przepuszczonych przez bramkę,

t_w - okres impulsów wzorcowych.

Częstotliwość i szybkość narastania napięcia generatora liniowego zostały tak dobrane, że jednemu impulsowi przepuszczonemu przez bramkę odpowiada jeden ^{o}C.

Impulsy z bramki dochodzą przez układ sterowania do perforatora oraz poprzez układ wybiorczy na wskaźnik cyfrowy. Układ sterowania dopasowuje impulsy oraz synchronizuje pracę perforatora z informacjami kanałowymi. Natomiast układ wybiorczy wybiera informacje z jednego kanału i podaje na wskaźnik cyfrowy. Pracą układu wybiorczego kieruje układ synchronizujący. Wyboru kanału dokonuje osoba obsługująca i dozorująca pracę całego urządzenia pomiarowego.

W czasie trwania przerwy synchronizującej na taśmie perforatora zapisywany jest czas trwania pomiaru. Dokładność zapisu czasu wynosi 0,1 s.

4. Uwagi końcowe

Wykonany prototyp urządzenia pomiarowego wykazał poprawność pracy, a tym samym i słuszność obranej koncepcji układu elektrycznego.

Część nadawcza charakteryzuje się stosunkowo dużymi wymiarami geometrycznymi. Dla przewidzianego zastosowania nie było potrzeby zmniejszania wymiarów, jednakże mogą one być obniżone przez lepsze wykorzystanie miejsca i zmniejszenie poboru energii zasilania. Gdyby układ był dostosowany dla jednego wymiaru wału, to objętość jego można by zmniejszyć o połowę.

Pobór energii zasilającej część nadawczą można obniżyć przez zastosowanie elementów scalonych serii 54 L oraz inne rozwiązanie układu komutatora.

Przez zastosowanie rejestracji na taśmie perforowanej wyniki pomiarów mogą być opracowywane w postaci tabel lub wykresów przez maszynę cyfrową.

Na podstawie informacji z kanału odniesienia będzie można kontrolować prawidłowość pracy całego urządzenia pomiarowego oraz wprowadzać poprawki w celu podniesienia dokładności pomiarów.

LITERATURA

1. Zagajewski T.: Układy elektroniki przemysłowej. WNT, Warszawa 1972.
2. Wagner F.: Liczniki elektroniczne w przemysłowych układach sterowania. WNT, Warszawa 1971.
3. Romer E.: Przemysłowe pomiary temperatury. Skrypt Politechniki Śląskiej, Gliwice 1967.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ КЛЕТОК РОТОРА АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Р е з ю м е

Система служит для измерения температуры клеток ротора асинхронных двигателей мощностью от 100 до 1000 квт. Данные пяти датчиков подаются телеметрическим методом по радиосвязи к приемнику. Результаты измерений фиксируются с помощью цифрового указателя НИКСИ, а также регистрируются на перфоленте.

THE DEVICE FOR TEMPERATURE MEASUREMENT OF THE SQUIRREL CAGES OF THE INDUCTION MOTORS

S u m m a r y

A device for temperature measurment of squirrel cages of induction motors from 100 to 1000 kW is described. Ihe signals from five transducers are sent to the receiver by means of a radio - link. The results are shown on a digital nixi indicators, and recorded on a perforated tape.