

Dr inż. Stefan Krajewski
Instytut Technologii Mechanicznej P.P.
oraz OBROiUS w Poznaniu
Dr hab. inż. Andrzej Milecki
Instytut Technologii Mechanicznej P.P.

METODA I UKŁAD DO POMIARU CZASU ZANIKANIA MOMENTU DYNAMICZNEGO W ELEKTROMAGNETYCZNYCH SPRZĘGLACH CIERNYCH

W referacie przedstawiono metodę oraz opisano urządzenie do pomiaru czasu zanikania momentu dynamicznego w elektromagnetycznych sprzęgłach ciernych po wyłączeniu zasilania elektrycznego. Wykazano inercyjny charakter procesu i wynikającą z tego faktu możliwość automatycznego skalowania układu pomiarowego do identyfikacji dynamicznej i klasyfikacji jakościowej sprzęgieł. Zadaniem układu jest pomiar czasu zanikania momentu tarcia między czynnymi i biernymi płytkami sprzęgła od chwili zaniku przepływu prądu w obwodzie elektromagnesu sprzęgła do chwili w której moment tarcia osiągnie wartość $0,1 \cdot M_n$ (znamionowego momentu sprzęgła). Wartość tego czasu oznaczana w katalogach firmowych symbolem $t_{0,1}$ jest podstawowym parametrem oceny jakościowej sprzęgła ciernego [3, 4].

A method and a circuit for measurement of electromagnetic couple dynamic torque decay time

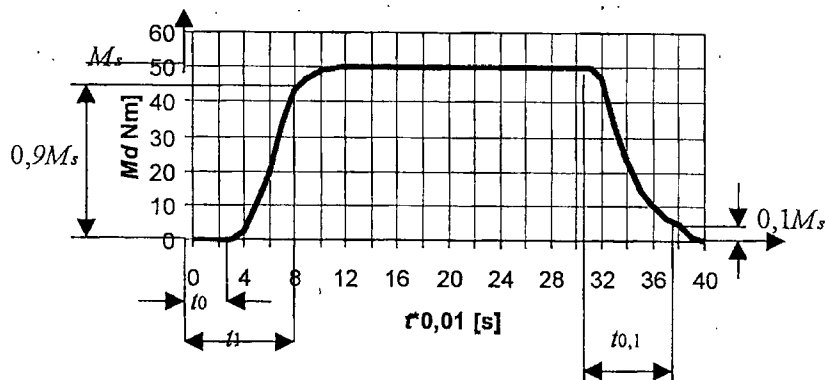
In a paper a method and a circuit for measurement of electromagnetic couple dynamic torque decay time is presented. The inertial character of the process is shown. On that base the automatic scaling of the measurement circuit can be introduced in a process of dynamic identification and classification of electromagnetic couples. The circuit task is to measure the decay time of friction torque between active and passive electromagnetic couple plates. One should start the measurement in a moment in which the current passing through the coil is equal to zero and stop it when a moment in which friction torque equals to $0,1 \cdot M_n$ (nominal torque). The time between switching on and off is called as $t_{0,1}$ in catalogues and is a basic electromagnetic couple parameter [3, 4].

1. WSTĘP

Elektromagnetyczne wielopłytkowe sprzęgła cierne należą do obiektów automatyki, których dynamikę określa się doświadczalnie (na stanowisku badawczym) na podstawie charakterystyki impulsowej. Do zacisków elektromagnesu sprzęgła przykłada się impulsowo sygnał napięciowy o wartości znamionowej i czasie trwania przekraczającym wartość konieczną do ustalenia się momentu dynamicznego sprzęgła jako wielkości wyjściowej. Badanie przeprowadza się przy unieruchomionej części biernej sprzęgła (praca hamulcowa). W idealnym elektromagnetycznym sprzęgle ciernym moment dynamiczny powinien zaniknąć

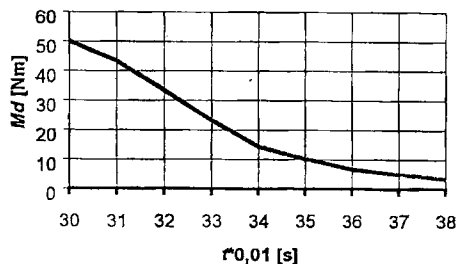
w chwili wyłączenia napięcia na zaciskach jego elektromagnesu. Inercyjność układu elektromagnetycznego i mechanicznego sprawia, że moment dynamiczny sprzęgła zanika w skończonym czasie. Pomiar czasu od wyłączenia napięcia do chwili w której moment dynamiczny $M_d(t) = 0,1 \cdot M_s$ (wartości znamionowej), oznaczanego w katalogach symbolem $t_{0,1}$ jest jednym z głównych parametrów oceny jakości sprzęgła.

2. CHARAKTERYSTYKA IMPULSOWA SPRZĘGŁA CIERNEGO



Rys. 1. Charakterystyka impulsowa elektromagnetycznego sprzęgła ciernego [3].
Oznaczenia: M_s – wartość ustalona momentu dynamicznego przy znamionowym zasilaniu elektromagnesu, t_0 – strefa nieczułości - czas zwłoki, t_1 – czas załączania (mierzony od załączenia napięcia do osiągnięcia wartości $0,9 M_s$), $t_{0,1}$ – czas rozłączania (mierzony od wyłączenia napięcia do osiągnięcia wartości $0,1 M_s$)

Na rysunku 1 przedstawiono przykładowy przebieg zmian momentu dynamicznego sprzęgła występujący w trakcie jego badania na stanowisku pomiarowym według metody opisanej powyżej.



Rys. 2. Przebieg zmian momentu dynamicznego po wyłączeniu zasilania elektromagnesu

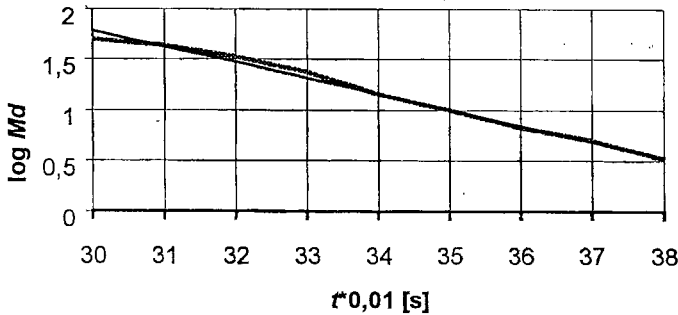
Na rysunku 2 pokazano w powiększeniu krzywą przebiegu zanikania momentu dynamicznego po wyłączeniu zasilania cewki sprzęgła. Jeżeli zanikanie momentu dynamicznego $M_d(t)$ ma przebieg typowy dla członów inercyjnych I-rzędu, tj. zgodnie z równaniem [3]:

$$M_d(t) = M_s \cdot \exp\left(-\frac{t-t_0}{T}\right) \quad (1)$$

to po zlogarytmowaniu wykres:

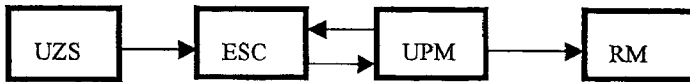
$$\log M_d(t) = \log M_s - \frac{0434}{T} \cdot (t-t_0) \quad (2)$$

powinien być linią prostą. Wielkość T jest stałą czasową zanikania momentu dynamicznego sprzęgła. Odpowiedni przebieg zmian momentu w skali półlogarytmicznej pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Przebieg zanikania momentu dynamicznego sprzęgła (wg rys. 2) we współrzędnych półlogarytmicznych (prosta cienka linia - aproksymująca)

Tezę o wykładniczym przebiegu zanikania momentu dynamicznego elektromagnetycznych wielopłytkowych sprzęgłach ciernych zweryfikowano doświadczalnie w Dziale Badawczym FUM Ostrzeszów (latach 1986-1990) w odniesieniu do wszystkich typowości produkowanych tam wówczas sprzęgł ETM na stanowiskach badawczych wyposażonych w analogowy tor pomiarowy szwajcarskiej firmy Vibrometer.



Rys. 4. Schemat blokowy układu pomiarowego do wyznaczania momentu dynamicznego elektromagnetycznego sprzęgła ciernego

Oznaczenia: UZS – układ zasilająco-sterujący, ESC – elektromagnetyczne sprzęgła cierne, UPM – układ pomiaru momentu dynamicznego z zespołami napędowym oraz pomiarowym, RM - rejestrator momentu dynamicznego (oscylograf)

Badania wykazały, że błędy aproksymacji rzeczywistych krzywych zanikania momentu dynamicznego $M_d(t)$ krzywymi wykładniczymi wg wzoru (1) nie przekraczają 5% co potwierdza zasadność przyjętej tezy. Podstawiając do wzoru (2):

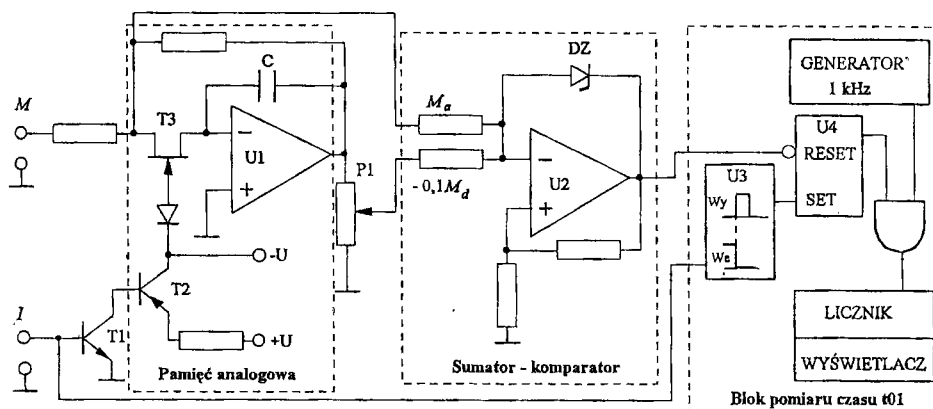
$$t - t_0 = t_{0,1} \text{ oraz } M_d(t_{0,1}) = 0,1 \cdot M_s$$

po przekształceniach otrzymuje się:

$$t_{0,1} = \frac{T}{\log e} = 2,3 \cdot T \quad (3)$$

Ze wzoru (3) wynika, że do wyznaczenia czasu $t_{0,1}$ nie jest konieczna znajomość wartości znamionowej momentu dynamicznego M_d . Pomiar może rozpocząć informacja o zaniku przepływu prądu elektrycznego przez cewkę sprzęgła przy $M_d \neq M_s$, a kończyć w chwili gdy $M_d(t_{0,1}) = 0,1 \cdot M_s$. Wykorzystanie tego faktu prowadzi do zmniejszenia pracochłonności pomiarów i uproszczenia układu pomiarowego.

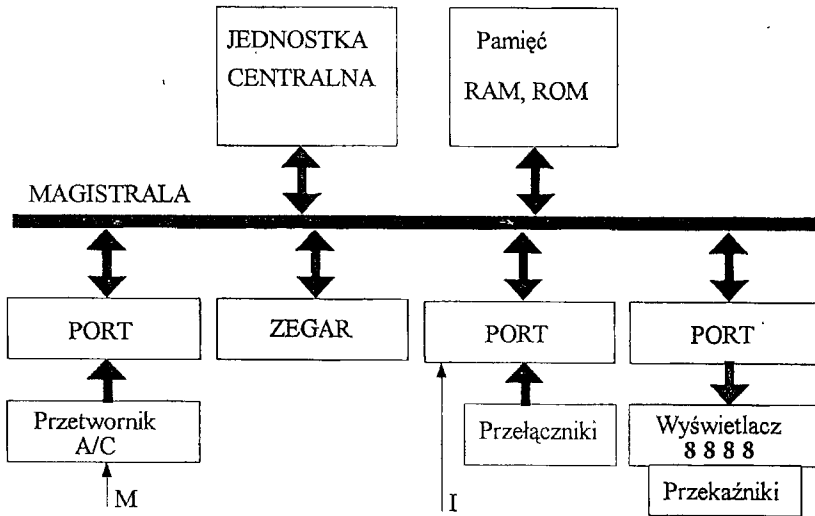
3. BUDOWA I ZASADA DZIAŁANIA URZĄDZENIA DO POMIARU CZASU $t_{0,1}$



Rys. 5. Schemat ideowy wersji analogowej urządzenia do pomiaru czasu rozłączenia sprzęgła elektromagnetycznego [1]

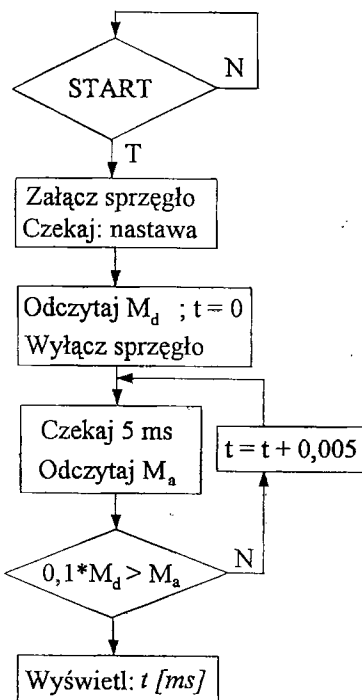
W pierwszej wersji, układ pomiarowy został zrealizowany i wdrożony w wersji analogowej. Jego uproszczony schemat ideowy został pokazany na rys. 5. Układ składa się z pamięci analogowej, zespołu sumatora-komparatora oraz bloku pomiaru czasu. Układ jest dołączony do miernika momentu dynamicznego oraz układu wykrywania przepływu prądu przez cewkę sprzęgła. Na wyjściu miernika momentu występuje sygnał napięciowy o zakresie od -10 V do $+10$ V. Jeśli sprzęgło jest załączone ($I > 0$), to tranzystory T1, T2 i T3 wprowadzają pamięć analogową w stan śledzenia. Na jej wyjściu występuje sygnał napięciowy o takim samym poziomie jak napięcie odpowiadające momentowi dynamicznemu. Zanik prądu przepływającego przez sprzęgło ($I = 0$) powoduje wprowadzenie pamięci w stan pamiętania. Tym sposobem na wyjściu układu U1 występuje napięcie stałe, odpowiadające momentowi dynamicznemu sprzęgła jaki był w momencie wyłączenia sprzęgła. Zostaje ono podane na potencjometr P1. Jego zadaniem jest zmniejszenie sygnału do wartości odpowiadającej $0,1 \cdot M_d$. Sygnał ten zostaje podany na jedno z wejść sumatora-komparatora. Na drugie wejście układu U2 zostaje doprowadzony sygnał odpowiadający aktualnemu momentowi sprzęgła. Opadające zbrocze sygnału przepływu prądu przez cewkę sprzęgła powoduje wygenerowanie na wyjściu multiwibratora. MW krótkiego impulsu. Ustawia on stan logicznej jedynki na wyjściu przerzutnika RS. Wychodzące z generatora impulsy zegarowe o częstotliwości 1 kHz są wtedy przekazywane przez bramkę AND do układu liczników i wyświetlania czasu t_{01} . Zliczanie trwa do momentu, w którym sygnał odpowiadający aktualnemu momentowi dynamicznemu zmaleje do wartości występującej na suwaku potencjometru P1. Następuje wtedy zmiana stanu na wyjściu komparatora, co powoduje wyzerowanie przerzutnika i zablokowanie przez bramkę AND impulsów z generatora. Na wyświetlaczu zostaje

wyświetlona wartość zmierzonego czasu t_{01} . W trakcie skalowania urządzenia należy ustalić na potencjometrze P1 podział napięcia wyjściowego w stosunku 10:1.



Rys. 6. Schemat blokowy mikroprocesorowego układu do pomiaru czasu rozłączania sprzęgieł elektromagnetycznych

W dalszej kolejności podjęto prace mające na celu opracowanie kolejnej wersji tego samego układu w wersji cyfrowej, na bazie mikrokontrolera typu 80537. Układ ten posiada 8-mio bitowy 12-to wejściowy przetwornik analogowo-cyfrowy na wejściu, którego znajduje się układ śledząco-pamiętający. Do jednego z wejść dołączono sygnał z układu pomiaru momentu dynamicznego sprzęgła. Mikrokontroler zawiera w swej strukturze liczniki, które umożliwiają odmierzanie czasów niezbędnych podczas sterowania i realizacji pomiarów sprzęgieł elektromagnetycznych. Układ 80537 wyposażony jest w aż 7 binarnych portów wejściowo-wyjściowych oraz w cztery wyjścia analogowe. Tak szerokie możliwości pozwalają na realizację bardzo zróżnicowanych operacji sterowania procesem pomiarowym oraz na realizację samych pomiarów sprzęgieł elektromagnetycznych oraz na ich klasyfikację. Do jednego z wejść binarnych jest dołączony sygnał informujący o przepływie prądu przez cewkę sprzęgła. Do innych wejść binarnych dołączone są sygnały z pulpitu sterującego stanowiskiem takie jak np.: załączanie poszczególnych elementów stanowiska, zerowanie, wybór rodzaju pomiaru, wybór rodzaju sprzęgła, określenie parametrów pomiaru, start pomiaru, stop pomiaru itp. Do portu wyjściowego dołączone są diody sygnalizujące stan pracy stanowiska, wyświetlacze cyfrowe oraz przekaźniki załączające poszczególne elementy stanowiska. Zastosowanie układu z mikrokontrolerem pozwala na wykonywanie pomiarów różnych parametrów sprzęgieł elektromagnetycznych (np. momentu dynamicznego, czasu załączania, momentu resztkowego, czasu rozłączania t_{02}).



Rys. 7. Algorytm pomiaru czasu $t_{0,1}$

Opisane wyżej urządzenie pomiarowe może być zbudowane także przy wykorzystaniu komputera typu IBM PC wyposażonego w specjalną kartę wejść i wyjść analogowych oraz cyfrowych.

Uproszczony algorytm pomiaru czasu rozłączania sprzęgła $t_{0,1}$ został przedstawiony na rys. 7. Po wywołaniu startu pomiaru zostaje załączone sprzęgło na czas określony przez operatora (nastawiony na pulpicie). Po jego upływie zostaje odczytany i zapamiętany moment dynamiczny M_d występujący na sprzęgle. Dla uniknięcia błędów pomiarowych dokonuje się kilku odczytów (np. 10 pomiarów co 5 ms), a uzyskane wyniki uśrednia. Następnym krokiem jest wyłączenie sprzęgła oraz uruchomienie procesu odmierzenia czasu rozłączenia (w momencie zaniku przepływu prądu przez cewkę). W dalszej sekwencji dokonywane są pomiary wartości momentu aktualnie przenoszonego przez sprzęgło. Są one wykonywane do chwili, w której moment aktualny zmniejszy się do wartości równej $0,1 \cdot M_d$. Zgodnie z opisanymi wyżej zasadami pomiarów, następuje zakończenie zliczania czasu rozłączania sprzęgła. Jego wartość zostaje wyświetlona na wyświetlaczu cyfrowym oraz porównana z wartością zapisaną w pamięci. Informacja o wyniku porównania zostaje zobrazowana za pomocą zaświecenia diody zielonej albo czerwonej.

4. PODSUMOWANIE

Opisana w pracy metoda pomiaru pozwoliła na opracowanie i zbudowanie praktycznego układu elektronicznego do pomiaru parametrów dynamicznych sprzęgieł elektromagnetycznych wielopłytkowych. Znalazła ona zastosowanie praktyczne na stanowiskach pomiarowych w dziale badań producenta sprzęgieł. Zbudowane urządzenie cechuje się prostotą, dzięki czemu charakteryzuje się wysoką niezawodnością. Zastosowanie układu mikroprocesorowego pozwala na prawie pełne zautomatyzowanie procesu pomiarowego sprzęgieł elektromagnetycznych. Zaproponowana metoda oraz zbudowane urządzenie może być wykorzystane do pomiaru także innych urządzeń elektromechanicznych.

LITERATURA

- [1] Krajewski S., Milecki A., *Elektroniczny układ pomiarowy do identyfikacji właściwości dynamicznych obiektów inercyjnych*, Pomiary Automatyka Kontrola, nr 10/1988.
- [2] Krajewski S., Milecki A., *Układ do identyfikacji właściwości dynamicznych obiektów inercyjnych*, Patent nr 151626, Warszawa 1991.
- [3] *Mufty elektromagnetyczne z magnitoprowadzającymi dyskami serij EIM*, Warunki techniczne TUPM/EIM - 85, Moskwa, Ostrzeszów, 1985.
- [4] Katalog firmy Lenze: Electromagnetic Clutches and Brakes.