

Marek GELNER

Waldemar KEMPSKI

UKŁAD DO REJESTRACJI PRZEBIEGU CZASOWEGO MOMENTU ELEKTROMAGNETYCZNEGO
MASZYNY SYNCHRONICZNEJ PRZY SILNIE ODKSZTAŁCONYCH
NAPIĘCIACH I PRĄDACH

Streszczenie. Przedstawiono zasadę działania i możliwości realizacji układu do rejestracji przebiegów wybranych wielkości elektromagnetycznych maszyny synchronicznej, pracującej przy silnie odkształconych przebiegach prądów i napięć, np. przy zasilaniu maszyny z przekształtników. Wykazano przydatność układu do pomiaru wartości średniej momentu elektromagnetycznego maszyny, mocy chwilowej oraz mocy czynnej przy wyzyskaniu jedynie sygnałów prądów i napięć maszyny.

Wykorzystano zależności wynikające z dwuosobowego modelu matematycznego maszyny:

$$M_e = \bar{p}(\Psi_{1\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{1\beta} I_{1\alpha})$$

$$M_e = \bar{p}(\Psi_{\delta\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{\delta\beta} I_{1\alpha})$$

$$P_l = U_{1\alpha} I_{1\alpha} + U_{1\beta} I_{1\beta}$$

Podstawową trudnością w realizacji tej koncepcji jest konieczność stosowania szybkich elementów mnożących o odpowiedniej dokładności i stabilności.

Rezultaty uzyskane w realizacji tej koncepcji przy użyciu analogowych układów mnożących MC 1595 L są przedmiotem tego artykułu.

Zamieszczono rejestrogramy uzyskane przy użyciu układu modelowego. Wskazano na możliwość zastosowania układu w przypadku współpracy z innymi maszynami o polu wirującym lub z silnikami liniowymi.

1. Wprowadzenie

W przekształtnikowych układach napędowych z maszynami o polu wirującym prądy fazowe oraz napięcia fazowe są znacznie odkształcone. Moment elektromagnetyczny maszyny zawiera obok składowej stałej również składowe zmienne. Objawia się to w postaci pulsacji momentu elektromagnetycznego.

Amplituda, częstotliwość i przebieg czasowy momentów pulsujących mają istotny wpływ na właściwości eksploatacyjne układu napędowego. Wpływ ten jest tym silniejszy, im większa jest amplituda składowych pulsujących oraz im bardziej częstotliwość momentów pulsujących jest zbliżona do częstotliwości rezonansu mechanicznego mas wirujących układu napędowego.

Do prowadzenia prac badawczych i konstrukcyjno-projektowych nad układami przekształtnikowymi i maszynami o polu wirującym konieczna jest znajomość zarówno wartości średniej momentu obrotowego, jak również przebiegu czasowego momentu elektromagnetycznego. Dotyczy to zwłaszcza napędów z maszynami synchronicznymi pracujących w układzie silnika przekształtnikowego, przy którym to układzie pulsacje momentu mogą osiągać wartości rzędu 50% wartości średniej [3].

Pomiarowe określenie przebiegu momentu elektromagnetycznego jest trudne. Jakkolwiek istnieje ścisły związek pomiędzy momentem obrotowym na wale oraz momentem elektromagnetycznym, to jednak próba wyznaczenia przebiegu momentu elektromagnetycznego na podstawie pomiaru momentu na wale nie prowadzi do zadowalających z punktu widzenia dokładności rezultatów. Moment na wale jest bowiem uśredniony wskutek bezwładności i podatności mechanicznej elementów wirujących oraz pomniejszony o straty mechaniczne i elektryczne występujące między polem wirującym i sprzęgłem maszyny.

Interesująca koncepcja pomiaru momentu elektromagnetycznego została podana w pracy [2]. Jej istotą jest wyznaczenie przebiegu momentu poprzez pomiar napięć i prądów, a następnie wykorzystanie zależności wynikających z dwuosiowego modelu matematycznego maszyny. Podstawową trudnością w realizacji tej koncepcji jest konieczność stosowania szybkich elementów mnożących o odpowiedniej dokładności i stabilności.

Rezultaty uzyskane w realizacji tej koncepcji przy użyciu obecnie dostępnych elementów są przedmiotem niniejszego artykułu.

2. Zasada działania

W nieruchomym układzie współrzędnych $\alpha, \beta, 0$ na płaszczyźnie Gaussa prostopadłej do osi magnetycznej ogólny wzór na moment elektromagnetyczny w przypadku transformacji ortogonalnej przedstawia się następująco [1]:

$$M_e = \bar{p} \operatorname{Re}(j \Psi_1 I_1^*), \quad (1)$$

gdzie:

\bar{p} - liczba par biegunów,

Ψ_1 - kompleksor strumienia stojana,

I_1^* - kompleksor sprzężony z kompleksorem prądu stojana.

Przekształcając dalej, otrzymuje się:

$$M_e = \bar{p} (\Psi_{1\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{1\beta} I_{1\alpha}). \quad (2)$$

$$M_e = \bar{p} (\Psi_{0\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{0\beta} I_{1\alpha}). \quad (3)$$

gdzie:

$\underline{\Psi}_\delta$ - kompleksor strumienia w szczelinie.

Z zależności (2) i (3) wynika, że do wyznaczenia przebiegu momentu elektromagnetycznego wystarcza znajomość składowych α , β kompleksora prądu stojana oraz składowych α , β kompleksora prądu można łatwo wyznaczyć poprzez transformację prądów fazowych maszyny. Składowe kompleksora strumienia w szczelinie mogą być wyznaczone bezpośrednio, np. poprzez pomiar indukcji pola w dwóch przesuniętych o kąt $\frac{\pi}{2p}$ wycinkach szczeliny lub pośrednio poprzez pomiar napięć i prądów maszyny.

Pierwszy sposób wymaga instalowania czujników pola magnetycznego w szczelinie maszyny, dla celów pomiarowych jest to sposób bardzo niewygodny.

Sposób drugi bazuje na pomiarach prądów i napięć maszyny, wymaga jednak znajomości modelu matematycznego maszyny. Składowe kompleksora strumienia stojana mogą być wyznaczone pośrednio przez pomiar napięć i prądów maszyny.

W rozwiązaniu będącym przedmiotem niniejszego artykułu posłużono się pośrednią metodą wyznaczania składowych strumienia. Celowe jest zatem omówienie przyjętego do analizy modelu maszyny. Omówiony zostanie model maszyny synchronicznej jawnobiegunowej jako bardziej ogólny.

Formułując, model przyjęto następujące założenia:

1) Uzwojenia stojana tworzą trzy uzwojenia fazowe o ciągłym rozłożeniu sinusoidalnym. Osie tych uzwojeń przesunięte są o elektryczny kąt $\alpha = \frac{2}{3}\pi$

2) Rezystancje oraz indukcyjności własne i wzajemne uważa się za parametry skupione, wobec czego związki elektromagnetyczne (prawa Kirchhoffa) są opisane przez równania różniczkowe o pochodnych zwyczajnych.

3) Maszyna jest nienasycona, $\mu = \infty$

4) Poza litymi partiami magneśnicy resztę ferromagnetycznego obwodu traktujemy jako obwód złożony z idealnego pakietu blach, co sprowadza się do założenia, że rezystywność ferromagnetyka $\rho = \infty$.

5) Przewody mają stały przekrój, uzwojenia fazowe są symetryczne, obwód magnetyczny ma $2p$ osi symetrii.

6) Stałe materiałowe są niezależne od temperatury.

7) Pominięte zostały straty w litym bloku magneśnicy, w klatce tłumiącej oraz straty wynikłe wskutek przepływu prądów wirowych w klinach i przypowierzchniowych strefach bloku litego magneśnicy.

8) Zachowana jest symetria podprzebieściowa, przy której $x_d'' \approx x_q''$.

Spśród całej rodziny maszyn synchronicznych założenie ósme spełniają najlepiej silniki synchroniczne z biegunami wydatnymi i z silną klatką tłumiącą.

W mniejszym stopniu założenie to spełniają maszyny synchroniczne z biegunami utajonymi, dla których $x_q'' = (1+1,3)x_d''$.

Uwzględniając powyższe założenia, można zapisać:

$$u_{1k} = i_{1k}R + \frac{d\Psi_{1k}}{dt}, \quad (4)$$

gdzie:

$k = A, B, C,$

u_{1k} - napięcie fazy k stojana,

i_{1k} - prąd w fazie k stojana,

Ψ_{1k} - strumień magnetyczny skojarzony z fazą k .

Całkując równania (4), otrzymuje się:

$$\Psi_{1k} = \int_0^t (u_{1k} - i_{1k}R)dt + \Psi_{1k}(0). \quad (5)$$

Całkowity strumień magnetyczny skojarzony z daną fazą jest sumą strumienia w szczelinie skojarzonego z tą fazą oraz strumienia, który nie bierze udziału w tworzeniu momentu elektromagnetycznego, a który jest skojarzony z daną fazą

$$\Psi_{1k} = \Psi'_{\delta k} + L_{\sigma} i_{1k}, \quad (6)$$

gdzie:

L_{σ} - indukcyjność rozproszenia fazy stojana.

Z uwagi na wielkości stałych czasowych procesów zachodzących w maszynie synchronicznej zasilanej z przekształtnika dla stanu ustalonego można zapisać, że $L_{\sigma} \approx L''_{\sigma}$.

Transformując wielkości stanu z naturalnego układu współrzędnych A, B, C do układu współrzędnych $\alpha, \beta, 0$, otrzymuje się przy zastosowaniu transformacji ortogonalnej:

$$\begin{cases} w_{1\alpha} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left[w_{1A} - \frac{1}{2}(w_{1B} + w_{1C}) \right] \\ w_{1\beta} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left[\frac{\sqrt{3}}{2}(w_{1B} - w_{1C}) \right] \\ w_{10} = \frac{1}{\sqrt{3}} (w_{1A} + w_{1B} + w_{1C}) \end{cases} \quad (7)$$

gdzie:

w_{1A}, w_{1B}, w_{1C} - transformowane wielkości stanu.

Zakładając, że maszyna synchroniczna jest zasilana trójprzewodowo, można stwierdzić, że składowa zerowa prądu jest równa zero. Wobec tego składowa zerowa napięcia i strumienia jest również zerowa, czyli:

$$\begin{cases} I_{10} = 0 \\ \Psi_{10} = 0 \\ \Psi_{\delta 0} = 0 \\ U_{10} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

z czego wynika, że:

$$\begin{cases} I_{1\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} i_{1A} \\ I_{1\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} (i_{1B} - i_{1C}) \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} \Psi_{1\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} \Psi_{1A} \\ \Psi_{1\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\Psi_{1B} - \Psi_{1C}) \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} \Psi_{\delta\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} \Psi_A \\ \Psi_{\delta\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} (\Psi_{\delta B} - \Psi_{\delta C}) \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} u_{1A} \\ U_{1\beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} (u_{1B} - u_{1C}) \end{cases} \quad (12)$$

Moc chwilowa doprowadzona do uzwojenia stojana

$$P_1 = \operatorname{Re}(U_{1\alpha} I_{1\alpha}^* + U_{1\beta} I_{1\beta}^*) \quad (13)$$

Na podstawie powyższych zależności zostało zbudowane urządzenie do rejestracji momentu elektromagnetycznego i mocy chwilowej oraz hodografów: kompleksora napięcia, kompleksora prądu stojana, kompleksora strumienia stojana oraz kompleksora strumienia w szczelinie, jak również przebiegów czasowych niektórych fazowych współrzędnych stanu.

Schemat funkcjonalny układu przedstawiony jest na rys. 1.

3. Struktura układu

Urządzenie składa się z kilku podstawowych bloków (rys. 1).

W bloku I mając do dyspozycji napięcia międzyfazowe, uzyskuje się sygnały napięciowe proporcjonalne do napięć fazowych U_A, U_B, U_C oraz dwa sygnały napięciowe proporcjonalne do składowych $u_{1\alpha}, u_{1\beta}$ kompleksora napięcia stojana

$$\begin{aligned} u_{1A} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (u_{1AB} - u_{1CA}) \\ u_{1B} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (u_{1BC} - u_{1AB}) \\ u_{1C} &= \frac{1}{\sqrt{3}} (u_{1CA} - u_{1BC}). \end{aligned} \quad (14)$$

W bloku II otrzymuje się sygnały napięciowe proporcjonalne do prądów fazowych.

W bloku III modelowane są wartości strumieni magnetycznego i w szczelinie skojarzonego z daną fazą, na podstawie chwilowych wartości prądów i napięć fazowych, założonych wartości rezystancji uzwojeń faz A, B, C oraz indukcyjności rozproszenia stojana.

W tym celu zamontowane są potencjometry, którymi ustala się napięcia proporcjonalne do spadku napięcia na rezystancji uzwojenia fazy stojana oraz do strumienia magnetycznego skojarzonego z indukcyjnością rozproszenia faz stojana.

W bloku IV dokonywana jest transformacja współrzędnych stanu z naturalnego (A,B,C) do prostokątnego układu współrzędnych.

Poszczególne układy realizują funkcje:

$$\begin{aligned} i_{1\alpha} &= \sqrt{\frac{3}{2}} i_{1A} \\ i_{1\beta} &= \frac{1}{\sqrt{2}} (i_{1B} - i_{1C}) \\ u_{1\alpha} &= \sqrt{\frac{3}{2}} u_{1A} \\ u_{1\beta} &= \frac{1}{\sqrt{2}} u_{1BC} \\ \Psi_{1k} &= \int_0^t (u_{1k} - i_{1k}R) dt + \Psi_{k0}. \end{aligned} \quad (15a)$$

Wartość średnia strumienia w okresie jest równa zero.

Wobec tego dla układu zakłada się, że $\Psi_{k0} = 0$

$$\begin{aligned}
 \Psi_{\delta k} &= \Psi_{1k} - I_{1k} L_{\sigma} \\
 \Psi_{1\alpha} &= \sqrt{\frac{3}{2}} \Psi_{1A} \\
 \Psi_{1\beta} &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\Psi_{1B} - \Psi_{1C}) \\
 \Psi_{\delta\alpha} &= \sqrt{\frac{3}{2}} \Psi_{\delta A} \\
 \Psi_{\delta\beta} &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\Psi_{\delta B} - \Psi_{\delta C}).
 \end{aligned} \tag{15b}$$

W bloku V (rys. 2) uzyskiwane jest napięcie proporcjonalne do momentu elektromagnetycznego maszyny synchronicznej.

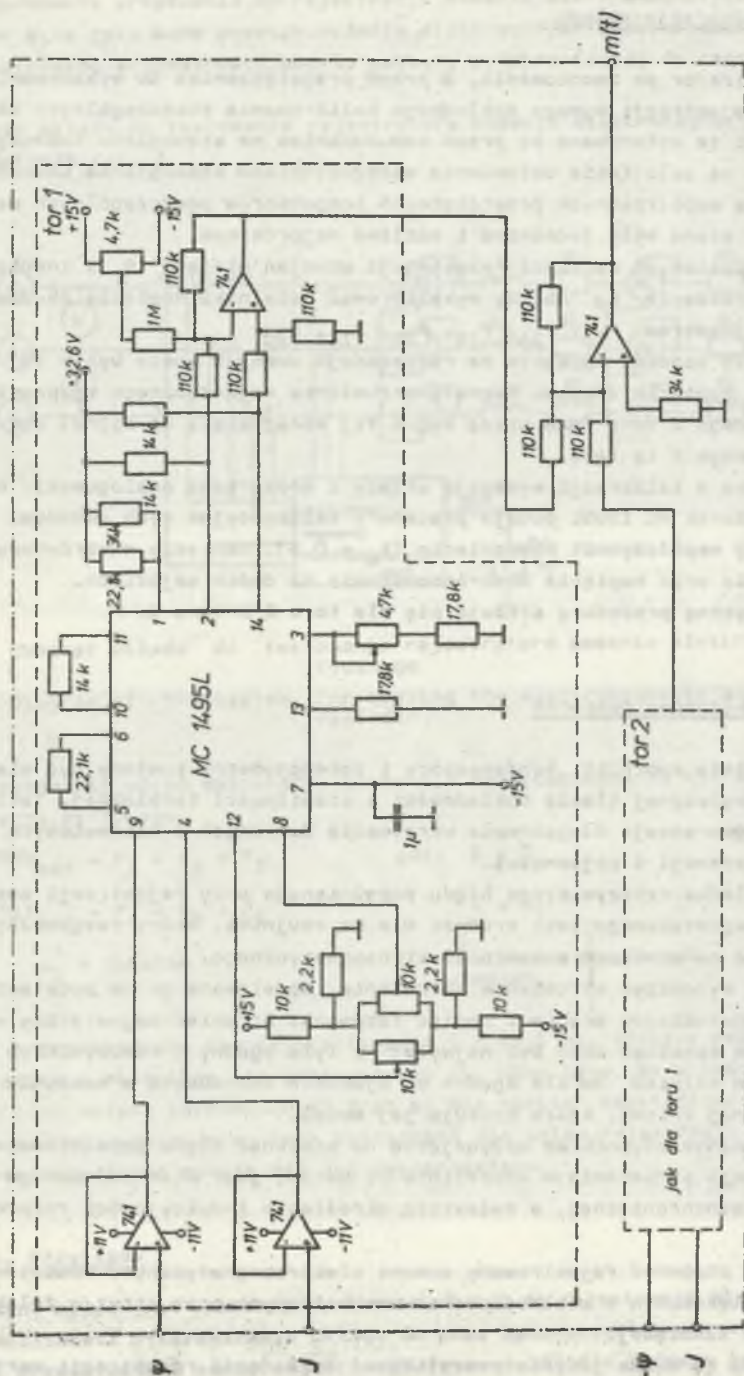
$$M_e = \bar{p} (\Psi_{\delta\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{\delta\beta} I_{1\alpha}). \tag{16}$$

Istnieje możliwość podania na wejścia bloku V sygnałów $U_{1\alpha}$, $U_{1\beta}$ i otrzymać sygnał wyjściowy proporcjonalny do mocy chwilowej pobieranej przez maszynę synchroniczną.

$$P_1 = U_{1\alpha} I_{1\alpha} + U_{1\beta} I_{1\beta}.$$

Na wyjścia rejestratora stale podany jest sygnał proporcjonalny do wartości chwilowej momentu elektromagnetycznego lub mocy chwilowej. Jedno z nich służy do współpracy z oscyloskopem, a drugie z woltomierzem reagującym na wartość średnią napięcia. Na pozostałe wyjścia podane są dowolne sygnały spośród wymienionych poniżej:

- przebieg napięcia fazowego u_{1A} ,
- przebieg napięcia międzyfazowego u_{BC} ,
- hodograf kompleksora napięcia stojana \underline{U}_1 ,
- przebieg prądu fazowego i_{1A} ,
- hodograf kompleksora prądu stojana \underline{I}_1 ,
- przebieg całkowitego strumienia magnetycznego skojarzonego z fazą A Ψ_{1A} ,
- hodograf kompleksora strumienia stojana $\underline{\Psi}_1$,
- przebieg strumienia w szczelinie skojarzonego z fazą A $\Psi_{\delta A}$,
- hodograf strumienia w szczelinie Ψ_{δ} .



Rys. 2. Schemat ideowy bloku V
Fig. 2. Schematic diagram of the V block

4. Kalibracja układu

Rejestrator po zmontowaniu, a przed przystąpieniem do wykonywania pierwszych rejestracji wymaga dokładnego kalibrowania poszczególnych układów. Czynności te wykonywane są przed zabudowaniem na stanowisku roboczym. Mają one na celu takie ustawienia współczynników wzmocnienia układów, aby skale dla współrzędnych prostokątnych kompleksorów poszczególnych współrzędnych stanu były jednakowe i możliwe najprostsze.

Dla ustalonych wartości rezystancji uzwojeń stojana R i indukcyjności rozproszenia L_G należy wykalibrować dzielniki napięcia zbudowane z potencjometrów P_{1A} , P_{2A} , P_{1B} , P_{2B} , P_{1C} , P_{2C} .

Sygnały spadków napięcia na rezystancji uzwojeń muszą być w tej samej skali co napięcia fazowe. Sygnały strumienia magnetycznego rozproszenia skojarzonego z daną fazą muszą być w tej samej skali co sygnał strumienia skojarzonego z tą fazą.

W bloku V kalibracji wymagają układy z mnożarkami analogowymi. Producent mnożarek MC 1595L podaje procedury kalibracyjne tych układów. Kalibruje się współczynnik wzmocnienia ($k_u = 0,1$), napięcie niezrównoważenia na wyjściu oraz napięcie niezrównoważenia na dwóch wejściach.

Identyczną procedurę stosuje się dla toru 1 i toru 2.

5. Dokładność pomiarów

Wszystkie oporniki, kondensatory i potencjometry powinny być elementami o podwyższonej klasie dokładności i stabilności termicznej. Takie wykonanie gwarantuje długotrwałe utrzymanie dobranych i nastawionych wartości rezystancji i pojemności.

Określenie rzeczywistego błędu popełnianego przy rejestracji momentu elektromagnetycznego jest trudne. Nie ma czujnika, który reagowałby bezpośrednio na wielkość momentu elektromagnetycznego.

Chcąc wyznaczyć strumień w szczelinie, modelowano go na podstawie znajomości przebiegów prądów i napięć fazowych. Strumień magnetyczny wyznaczony tym sposobem może być najwyżej na tyle zgodny z rzeczywistym strumieniem w silniku, na ile zgodne są zjawiska zachodzące w maszynie synchronicznej z tymi, które opisuje jej model.

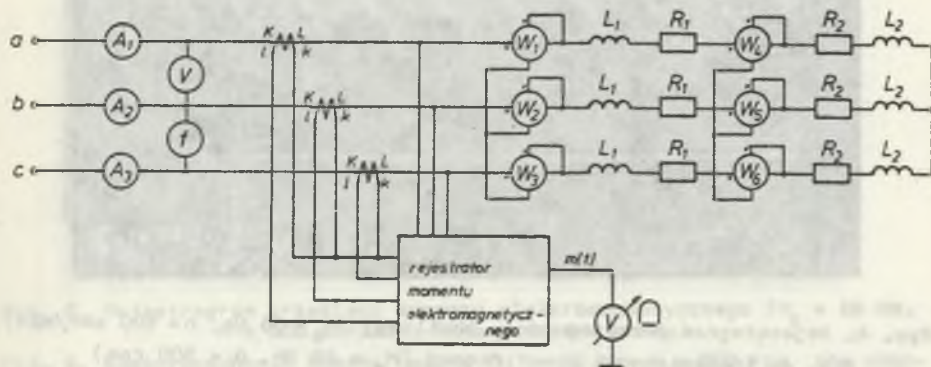
Krytycznym czynnikiem wpływającym na wielkość błędu popełnianego przy rejestracji strumienia w szczelinie tą metodą jest wierność samego modelu maszyny synchronicznej, a zwłaszcza określenie indukcyjności rozproszenia L_G .

Można porównać rejestrowany moment elektromagnetyczny z momentem na wale powiększonym o wielkość strat mechanicznych oraz strat w żelazie i w klatce tłumiącej.

Metodą tą można jedynie zweryfikować dokładność rejestracji wartości średniej momentu elektromagnetycznego.

Zaproponowane urządzenie do rejestracji momentu elektromagnetycznego testowane było jako suma pewnych układów elektrycznych i elektronicznych. Nie rozpatrywano adekwatności modelu maszyny synchronicznej do rzeczywistości.

Schemat układu do testowania rejestratora momentu elektromagnetycznego przedstawia rys. 3.



Rys. 3. Schemat układu do testowania rejestratora momentu elektromagnetycznego

Fig. 3. Diagram of the system for testing the electromagnetic moment recorder

Do testowania użyto watomierzy klasy 0,2 częstościomierza cyfrowego i woltomierza cyfrowego.

$$2\pi f M_{e\acute{s}r} = P_1 + P_2 + P_3$$

gdy: $R = 0$

$$2\pi f M_{e\acute{s}r} = P_4 + P_5 + P_6$$

$R = R_1$

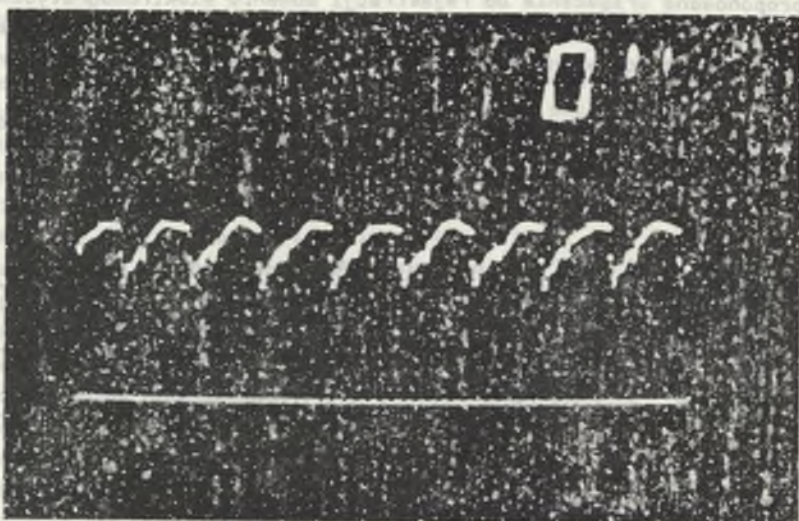
L_2 - dowolne

R - nastawna rezystancji uzwojeń.

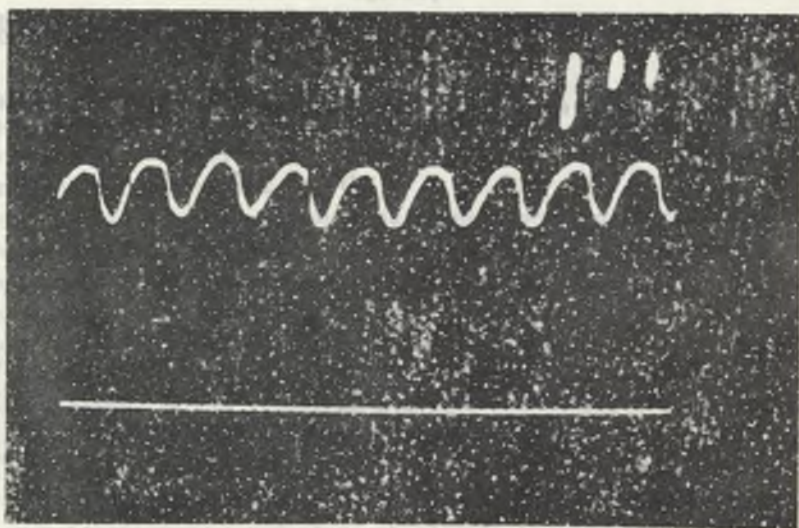
Test przeprowadzono dla częstotliwości $f = 49,5$ Hz. Różnice wskazań rejestratora i mierników nie przekraczały 1%. Mimo tego, że w teście nie uwzględniono wpływu harmonicznych oraz że dla niskich częstotliwości błąd układów całkujących rośnie, taka dokładność dla celów rejestracji momentu elektromagnetycznego wydaje się być wystarczająca.

6. Przykłady

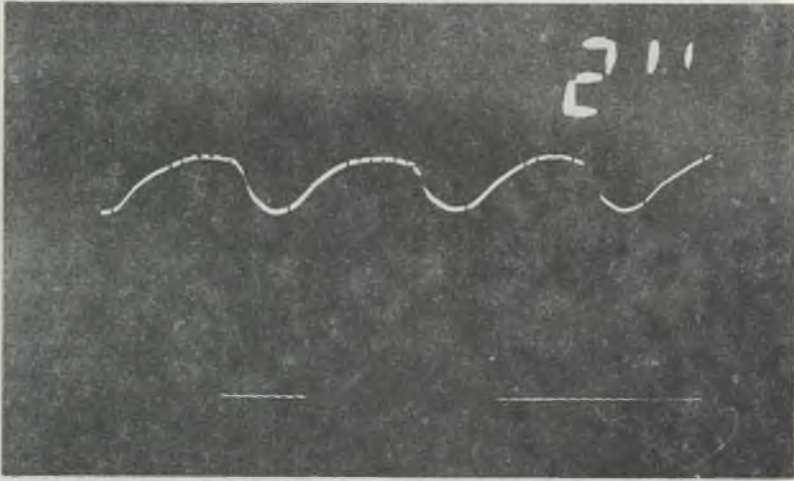
Opisany układ jest uniwersalny i może służyć do rejestracji wielu wielkości. Możliwości wykorzystania układu do prac badawczo-diagnostycznych zostały przedstawione serią rejestracji (rys. 4-12) dla jednego punktu



Rys. 4. Rejestrogram przebiegu mocy chwilowej ($M_0 = 66 \text{ Nm}$, $n = 500 \text{ obr/min}$)
 Fig. 4. Instantaneous power record ($M_0 = 66 \text{ Nm}$, $n = 500 \text{ rpm}$)

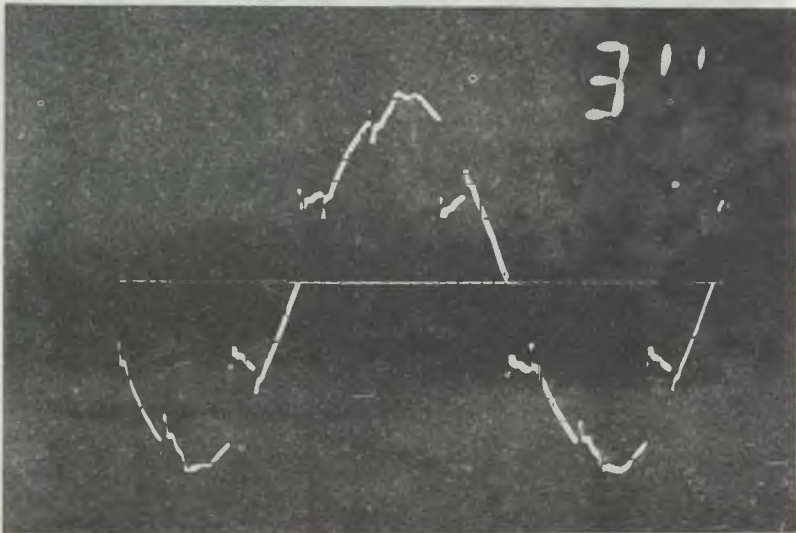


Rys. 5. Rejestrogram przebiegu momentu elektromagnetycznego ($M_0 = 66 \text{ Nm}$,
 $n = 500 \text{ obr/min}$)
 Fig. 5. Electromagnetic moment record ($M_0 = 66 \text{ Nm}$, $n = 500 \text{ rpm}$)



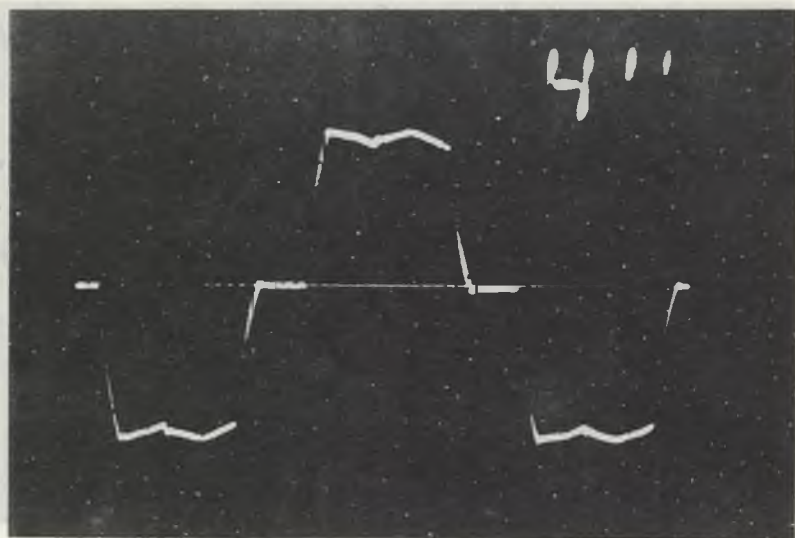
Rys. 6. Rejestrogram przebiegu momentu elektromagnetycznego ($M_o = 66 \text{ Nm}$, $n = 500 \text{ obr/min}$, inna podstawa czasu)

Fig. 6. Electromagnetic moment record ($M_o = 66 \text{ Nm}$, $n = 500 \text{ rpm}$ the shorter time base than in precious fig)

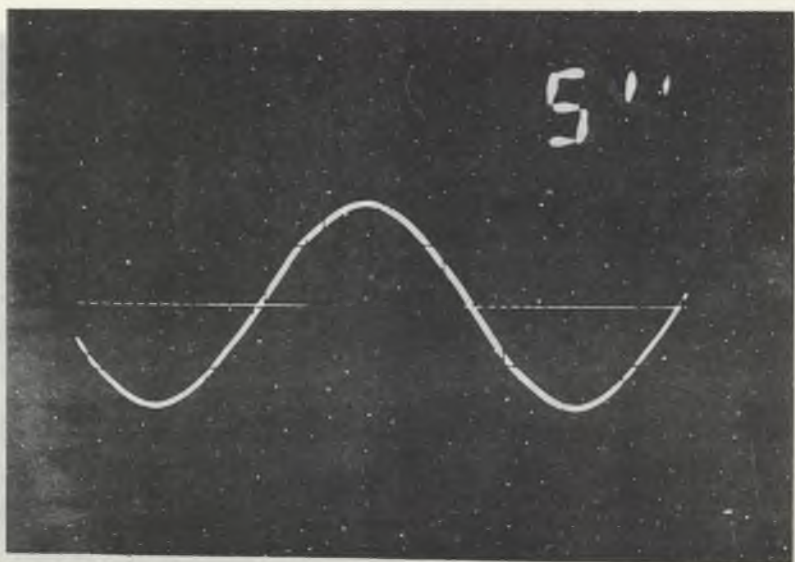


Rys. 7. Rejestrogram przebiegu napięcia fazowego

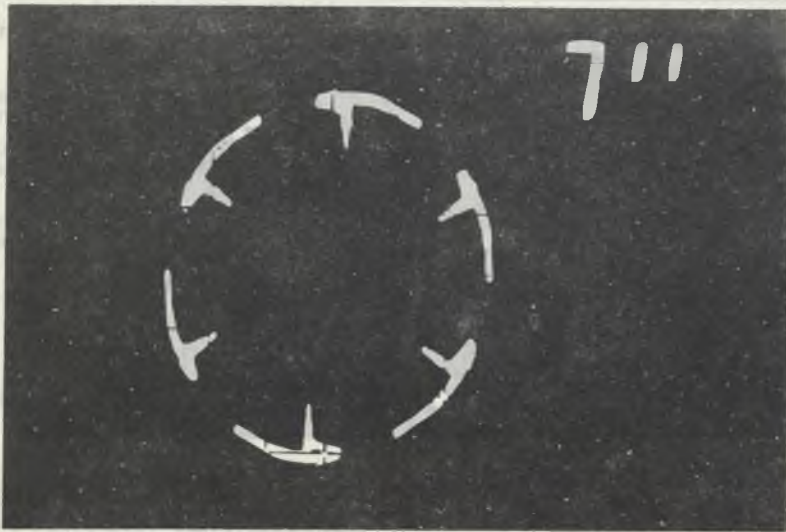
Fig. 7. Phase voltage record (u_A)



Rys. 8. Rejestrogram przebiegu prądu fazowego
Fig. 8. Phase current record (i_A)

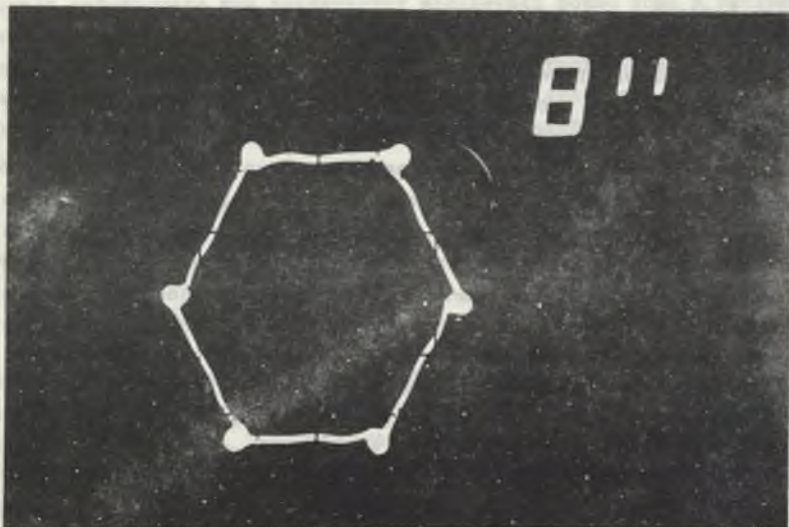


Rys. 9. Rejestrogram przebiegu strumienia w szczelinie skojarzonej z fazą A ($\Psi_{\delta A}$)
Fig. 9. Record of the gap flux associated with phase A ($\Psi_{\delta A}$)



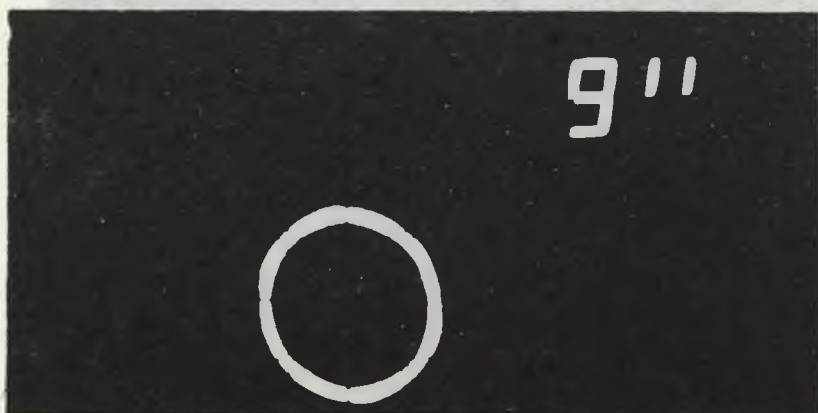
Rys. 10. Rejestrogram hodografu napięcia stojana (\underline{U}_1)

Fig. 10. Hodograph of the armature voltage (\underline{U}_1)



Rys. 11. Rejestrogram hodografu prądu stojana (\underline{I}_1)

Fig. 11. Hodograph of the armature current (\underline{I}_1)



Rys. 12. Rejestrogram hodografu strumienia w szczelinie (Ψ_{δ})

Fig. 12. Hodograph of the gap flux (Ψ_{δ})

pomiarowego. Maszyna synchroniczna pracująca w układzie silnika przekształtnikowego obciążona jest momentem $M = 66$ Nm przy prędkości obrotowej $n = 500$ obr/min.

7. Uwagi końcowe

Struktura urządzenia pozwala na rejestrację momentu elektromagnetycznego także innych maszyn trójfazowych o polu wirującym. Konieczna jest jedynie znajomość rezystancji uzwojeń faz stojana.

Konieczność modelowania strumienia magnetycznego w szczelinie wynikała z potrzeby rejestracji hodografu strumienia magnetycznego w szczelinie. W celu pomiaru i rejestracji momentu elektromagnetycznego znajomość współrzędnych kompleksora strumienia w szczelinie Ψ_{δ} nie jest konieczna. Wystarczy znajomość strumienia stojana Ψ_1 . Tym samym znajomość reaktancji rozproszenia maszyny oraz symetria podprzejściowa maszyny przestają być warunkami koniecznymi do uzyskania rzetelnych wyników tychże pomiarów. W układzie powyższa procedura realizowana jest przez ustawienie potencjometrów P2A, P2B, P2C (rys. 1) na wartość równą zero.

Taka struktura układu pozwala na pomiar i rejestrację momentu elektromagnetycznego dowolnej maszyny trójfazowej zasilanej trójprzewodowo.

Stosowanie rejestratora do maszyn zasilanych z sinusoidalnego źródła napięcia trójfazowego jest niecelowe.

LITERATURA

- [1] Paszek W.: Stany nieustalone maszyn elektrycznych prądu przemiennego. WNT, Warszawa 1986.
- [2] Rácz I.: Csorgits F., Halász S., Hunyár M., Schmidt L.: Meßgerät zur Messung der Drehmoments von Wechselstrommaschinen. *Elektrie* 29 (1975) N. 1.
- [3] Čerovsky Z.: Ventilový synchronní motor - Vlastnosti v ustálených a prechodných stavoch. Akademia, Praha 1981.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Stein

Wpłynęło do Redakcji 15 czerwca 1987 r.

УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО
МОМЕНТА СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ЗНАЧИТЕЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЯХ
ФОРМЫ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ

Р е з ю м е

Представлены принцип действия и возможности реализации устройства для регистрации переходных процессов электромагнитных величин синхронного двигателя работающего при значительных искажениях формы тока и напряжения, например, при управлении от преобразователя частоты. Показана применимость устройства для определения среднего электромагнитного момента и мгновенной мощности, при контроле только напряжения и тока двигателя.

Использованные зависимости получены из двухосевой математической модели двигателя:

$$M_e = \bar{P}(\Psi_{1\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{1\beta} I_{1\alpha})$$

$$M_e = \bar{P}(\Psi_{\delta\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{\delta\beta} I_{1\alpha})$$

$$P_l = U_{1\alpha} I_{1\alpha} + U_{1\beta} I_{1\beta}$$

Главная трудность в реализации этой концепции заключается в ограниченном быстродействии множительных аналоговых элементов имеющих удовлетворительные точность и стабильность. Положительные результаты реализации этой концепции, полученные при использовании аналоговых множительных элементов типа МС 1595 L, являются предметом статьи. Представлены регистрограммы полученные при использовании разработанного устройства. Показана возможность применения устройства для исследования широкого класса машин с вращающимся или линейно перемещающимся магнитным полем.

TRANSIENT RECORDER OF THE SYNCHRONOUS MACHINE
ELECTROMAGNETIC MOMENT UNDER STRONGLY DEFORMED
VOLTAGES AND CURRENTS

S u m m a r y

Principle of operation and realizabilities of the device for recording the transients of the chosen electromagnetic quantities in the synchronous machine working under strongly deformed current and voltage transients - for example when supplying the machine from inverters - have been presented in the paper. Usefulness of the device for measurements of the electromagnetic moment mean value, instantaneous power and active power only by means of the machine signals of currents and voltages has been proved.

The following dependences resulting from mathematical biaxial model of the machine have been applied:

$$M_e = \bar{p}(\Psi_{1\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{1\beta} I_{1\alpha})$$

$$M_e = \bar{p}(\Psi_{\delta\alpha} I_{1\beta} - \Psi_{\delta\beta} I_{1\alpha})$$

$$P_1 = U_{1\alpha} I_{1\alpha} + U_{1\beta} I_{1\beta}$$

The main difficulty in realization of this idea is the necessity of using fast multipliers of proper accuracy and stability. The results obtained with the use of analogue multipliers MC 1595L are the subject of this article. The registrations obtained by means of the model system have been inserted herein.

Possibility of using the system in case of cooperation with other machines of rotating filed or with linear induction motors has been indicated.