

Tadeusz Glinka, Aleksander Fręchowicz,
Tadeusz Janik
Zakład Maszyn Elektrycznych
Politechniki Śląskiej

ZAGADNIENIE NIERÓWNOMIERNOŚCI PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKÓW MAGNETOFONOWYCH

Streszczenie. Z uwagi na wymagania stawiane silnikom sprzętu fonicznego w zakresie równomierności biegu przeprowadzono szczegółową analizę przyczyn dewiacji prędkości obrotowej. Zagadnienie to jest szczególnie istotne w silnikach mocy ułamkowej o małym momencie bezwładności (np. silniki wzbudzone od magnesów trwałych, które są stosowane w magnetofonach kasetowych). W artykule omówiono metody pomiaru prędkości i dewiacji prędkości obrotowej tych silników. Na bazie przeprowadzonych badań laboratoryjnych ustalono główne źródła zakłóceń równomiernej prędkości obrotowej w silnikach typu E-3208 N.

1. Wstęp

Jednym z podstawowych parametrów magnetofonu, określających jakość odtwarzanych dźwięków, jest równomierność przesuwu taśmy magnetofonowej. Parametr ten uzależniony jest od dwóch elementów:

- równomierności obrotów silnika magnetofonowego,
- stanu mechanizmów pośredniczących.

Równomierność przesuwu taśmy magnetofonowej decyduje o wierności odtwarzanych nagrań. Nierównomierny bieg taśmy jest przyczyną powstawania zniekształceń odbieranych w postaci zmiany tonacji nagranego dźwięku. Ponadto powoduje efekty kołysania lub drżenia głosu.

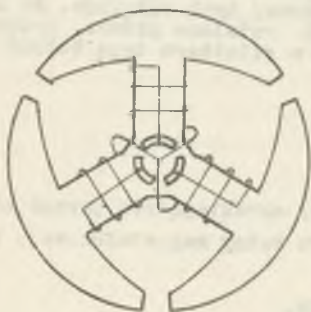
W magnetofonowych układach napędowych te niepożądane zjawiska mogą być wywołane różnymi przyczynami.

Polska Norma PN-69/T-86150 ustala dla różnych klas magnetofonów dopuszczalne tolerancje zmian prędkości średniej przesuwu taśmy Δv_{sr} i wartości szczytowej nierównomierności przesuwu taśmy Δv_x przy zapisie i odtwarzaniu.

W magnetofonach kasetowych produkcji ZRK stosowany jest silnik prądu stałego typu E-3208N o danych znamionowych $U_n = 4 \text{ V}$; $I_n = 130 \text{ mA}$; $P_n = 0,21 \text{ W}$; $n_n = 2000 \text{ obr./min.}$, wzbudzany od magnesów trwałych (rys.1). Silnik ten pod względem budowy jest bardzo prosty. Wirnik posiada trzy żłobki, w których jest umieszczone uzwojenie twornika składające się z trzech zezwojów połączonych w gwiazdę (rys. 2). Silnik posiada szczotki druciane wykonane ze stopu srebra.



Rys. 1. Silnik magnetofonowy typu E-3208 N



Rys. 2. Układ połączeń uzwojenia twornika

Przy produkcji masowej powstaje problem kontroli jakości produkowanych silników oraz problem ograniczania ilości wybrakowanych silników. Aby te problemy można było rozwiązać należało w pierwszym etapie opracować metodykę i układy pomiarowe nierównomierności prędkości obrotowej silnika, a następnie metodą badań laboratoryjnych ustalić główne źródła zaburzeń powodujące nierównomierny bieg silnika.

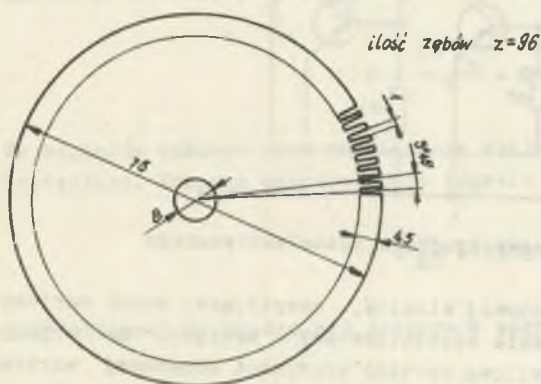
Ponadto dla celów kontroli jakości produkcji należało zbudować układ pomiarowy pozwalający określać nierównomierność prędkości obrotowej każdego silnika w warunkach masowej produkcji.

2. Metoda pomiaru nierównomierności prędkości obrotowej za pomocą przetwornika fotoelektrycznego

Pomiar nierównomierności prędkości obrotowej silnika fonicznego można zrealizować w oparciu o miernik nierównomierności mechanizmów magnetofonowych i adapterowych typu TP-677. Pomiar tym przyrządem polega na przekształceniu wahań prędkości badanego mechanizmu na proporcjonalne wahania częstotliwości odczytywanego sygnału i pomiaru jej procentowej dewiacji. Miernik pracuje przy nominalnej częstotliwości $f_n = 3150$ Hz.

Przy pomiarze nierównomierności prędkości mechanizmu magnetofonowego sygnał pobierany jest z taśmy magnetofonowej nagranej przebiegiem wzorcowym o częstotliwości 3150 Hz. Przy badaniu samego silnika sygnał trzeba uzyskać inną drogą. Wykorzystano w tym celu tarczę z cienkiej blachy alu-

miniowej, posiadającej 96 nacięć rozmieszczonych równomiernie na obwodzie (rys. 3).



Rys. 3. Tarcza czujnika fotoelektrycznego
proporcjonalna do prędkości obrotowej badanego silnika

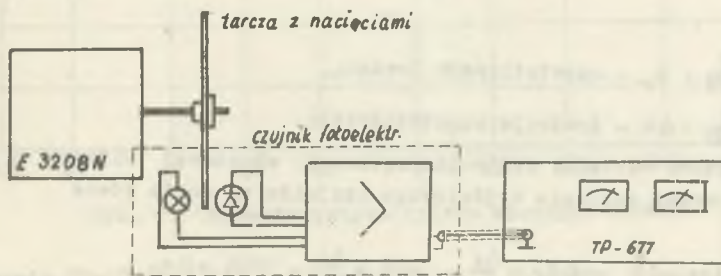
Tarcza zamocowana jest na wałku badanego silnika. Czujnik fotoelektryczny przetwarza impulsy świetlne na impulsy elektryczne, które po uformowaniu podawane są na wejście miernika TP-677. Kolejne rysunki przedstawiają: schemat blokowy układu pomiarowego (rys. 4), przykład tranzystorowego czujnika fotoelektrycznego (rys. 5).

Częstotliwość impulsów na wyjściu czujnika fotoelektrycznego jest propor-

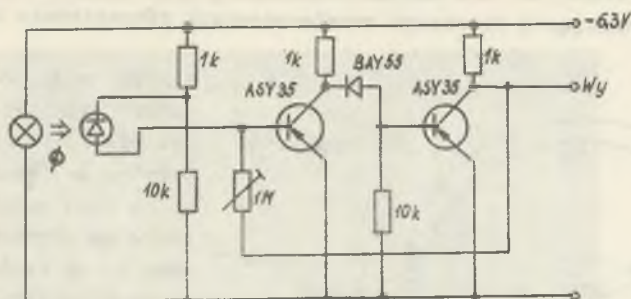
$$f = \frac{Kn}{60}, \quad (1)$$

gdzie:

- f - częstotliwość impulsów w Hz,
- n - prędkość obrotowa wirnika w obr/min.,
- K - liczba nacięć na obwodzie tarczy.



Rys. 4. Schemat blokowy układu do pomiaru nierównomierności prędkości obrotowej metodą laboratoryjną



Rys. 5. Schemat ideowy czujnika fotoelektrycznego

Przy zmiennej prędkości obrotowej wirnika, oscylującej wokół wartości średniej, wystąpią również wahania częstotliwości napięcia na wyjściu czujnika fotoelektrycznego. Chwilową wartość prędkości obrotowej wirnika określa zależność

$$n = n_0 + \Delta n \sin(2\pi f_d t), \quad (2)$$

gdzie:

n_0 - średnia wartość prędkości obrotowej wirnika,

Δn - dewiacja prędkości obrotowej,

f_d - częstotliwość dewiacji prędkości obrotowej.

Korzystając z zależności (1) i (2) można określić częstotliwość mierzonego napięcia

$$f = f_0 + \Delta f \sin(2\pi f_d t), \quad (3)$$

gdzie:

$f_0 = \frac{k}{60} \cdot n_0$ - częstotliwość średnia,

$\Delta f = \frac{k}{60} \cdot \Delta n$ - dewiacja częstotliwości.

Procentowe wartości dewiacji prędkości obrotowej wirnika i dewiacji częstotliwości napięcia wyjściowego czujnika są sobie równe

$$\Delta f_{\%} = \frac{\Delta f}{f_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta n}{n_0} \cdot 100\% = \Delta n_{\%}$$

Wynika stąd możliwość wykorzystania miernika nierównomierności mechanizmów magnetofonowych do pomiaru dewiacji prędkości obrotowej samego silnika.

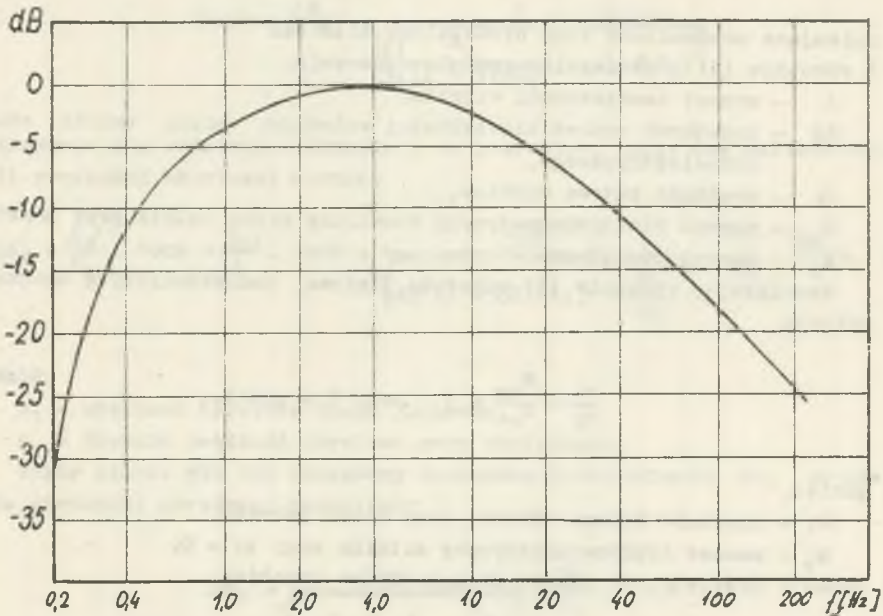
Nominalna częstotliwość pomiarowa miernika TP-677 wynosi 3150 Hz. Przy prędkości obrotowej silnika $n = 2000$ obr/min. ilość nacięć na obwodzie tarczy pomiarowej powinna wynosić

$$K = \frac{60 f_n}{n} = 94,5$$

Ze względów wykonawczych uzasadnione staje się zastosowanie tarczy z 96 nacięciami. Wówczas częstotliwość sygnału

$$f = \frac{Kn}{60} = 3200 \text{ Hz}$$

Częstotliwość ta mieści się jeszcze w zakresie pomiarowym miernika TP-677.



Rys. 6. Charakterystyka filtra miernika TP-677

Miernik TP-677 posiada zabudowany filtr o zmiennym tłumieniu w funkcji częstotliwości. Charakterystyka filtra podana jest na rys. 6. Kształt charakterystyki filtra wynika stąd, że kołysanie dźwięku jest najsilniej odczuwalne przy częstotliwości zmian około 4 Hz. Częstotliwość wahań dźwięku wyższa lub niższa od 4 Hz wywołuje mniej ostre wrażenia u słuchacza. Wykorzystanie omawianego filtra przy pomiarze nierównomierności prędkości obrotowej silników pozwala uwzględnić w widmie częstotliwości wahań prę-

kości silnika najsilniej te częstotliwości, które w decydującym stopniu wpływają na subiektywne wrażenie słuchaczy.

Aby ocenić dokładność przeprowadzonych pomiarów przeanalizowano wpływ czynników zmieniających wartość mierzoną.

Czynnikami tymi są:

- bezwładność tarczy czujnika fotoelektrycznego,
- dokładność wykonania tarczy.

Założenie tarczy czujnika na wałek silnika powoduje wzrost momentu bezwładności wirującej masy, a zatem zmniejsza nierównomierność prędkości obrotowej w stosunku do nierównomierności prędkości silnika bez tej tarczy. Wielkość mierzona będzie obciążona błędem ujemnym. W celu oszacowania tego błędu rozwiązano równanie

$$(I + \Delta I) \frac{d\omega}{dt} = M_{em} - M_m \quad (4)$$

opisujące mechaniczny stan nieustalony silnika.

W równaniu (4) poszczególne symbole oznaczają:

I - moment bezwładności wirnika,

ΔI - dodatkowy moment bezwładności wniesiony przez tarczę czujnika fotoelektrycznego,

ω - prędkość kątowna wirnika,

M_{em} - moment elektromagnetyczny rozwijany przez silnik przy prędkości ω ,

M_m - moment obciążenia.

Rozwiązując równanie (4) założono liniową charakterystykę mechaniczną silnika

$$\frac{\omega}{\omega_1} + \frac{M_{em}}{M_r} = 1 \quad \text{przy } U = \text{const.}, \quad (5)$$

gdzie:

ω_1 - prędkość kątowna wirnika przy biegu jałowym,

M_r - moment elektromagnetyczny silnika przy $\omega = 0$.

Ponadto przyjęto, że moment obciążenia ma przebieg

$$M_m = M_0 - \Delta M \sin(2\pi f_d t), \quad (6)$$

gdzie:

M_0 - wartość średnia momentu obciążenia,

ΔM - amplituda momentu zakłócającego.

Rozwiązanie równania (4) przy uwzględnieniu założeń (5) i (6) opisuje przebieg prędkości kątovej silnika

$$\omega = \frac{M_r - M_o}{M_r} \omega_1 + \frac{\Delta M}{I + \Delta I} \cdot \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi\right)}{\sqrt{\left[\frac{M_r}{(I + \Delta I)\omega_1}\right]^2 + (2\pi f_d)^2}} \quad (7)$$

Wprowadzając dodatkowe oznaczenia

$$\omega_o = \frac{M_r - M_1}{M_r} \omega_1$$

oraz

$$\Delta\omega' = \frac{\Delta M}{I + \Delta I} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{M_r}{(I + \Delta I)\omega_1}\right]^2 + (2\pi f_d)^2}}$$

otrzymuje się ostateczne wyrażenie na procentową szczytową wartość dewiacji prędkości obrotowej wirnika

$$\Delta n'_\% = \frac{\Delta n'}{n_o} \cdot 100\% = \frac{\Delta\omega'}{\omega_o} \cdot 100\% = \frac{\Delta MT}{\sqrt{4\pi^2 (I + \Delta I)^2 \omega_1^2 + \left(\frac{M_r}{T_d}\right)^2}} \cdot \frac{n_1}{n_o} \cdot 100\%, \quad (8)$$

gdzie:

n_1 - prędkość obrotowa biegu jałowego,

n_o - średnia prędkość obrotowa przy obciążeniu.

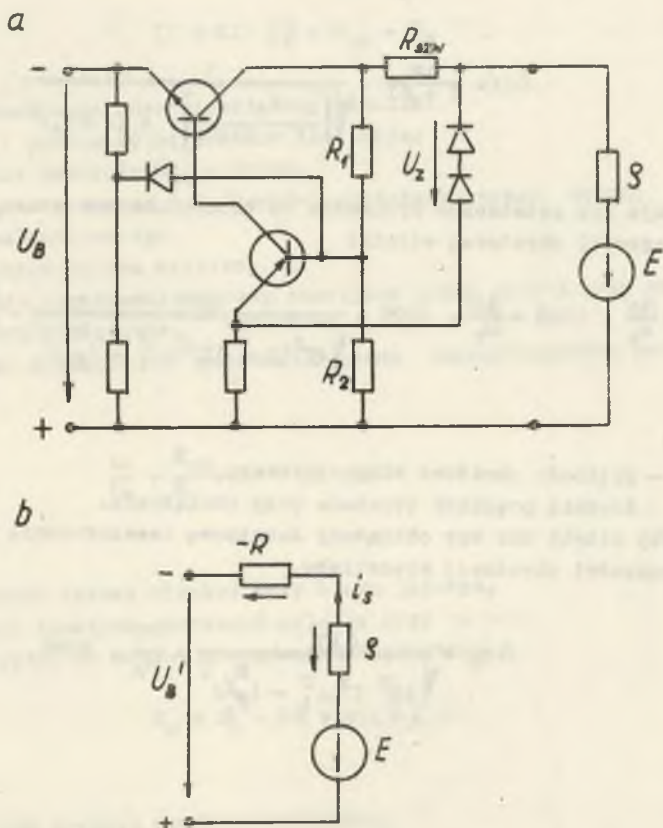
Gdyby silnik nie był obciążony dodatkową bezwładnością ΔI , to dewiacja prędkości obrotowej wynosiłaby

$$\Delta n_\% = \frac{\Delta MT}{\sqrt{4\pi^2 I^2 \omega_1^2 + \left(\frac{M_r}{T_d}\right)^2}} \cdot \frac{n_1}{n_o} \cdot 100\% \quad (9)$$

Zatem dewiacja prędkości obrotowej wzrośnie po zdjęciu tarczy czujnika pomiarowego z wartości $\Delta n'_{\%}$ do wartości $\Delta n_{\%}$ k -krotnie, gdzie:

$$k = \frac{\Delta n_{\%}}{\Delta n'_{\%}} = \frac{\sqrt{4\mathcal{J}^2(I + \Delta I)^2 \omega_1^2 + \left(\frac{M_r}{T_d}\right)^2}}{\sqrt{4\mathcal{J}^2 I^2 \omega_1^2 + \left(\frac{M_r}{T_d}\right)^2}} \quad (10)$$

O wartości współczynnika k decydują: moment bezwładności wirnika I , moment bezwładności tarczy czujnika ΔI , a także pochylenie charakterystyki mechanicznej silnika określone przez parametry ω_1 i M_r .



Rys. 7. Zasada działania elektronicznego stabilizatora prędkości obrotowej
 a) schemat ideowy, b) schemat zastępczy

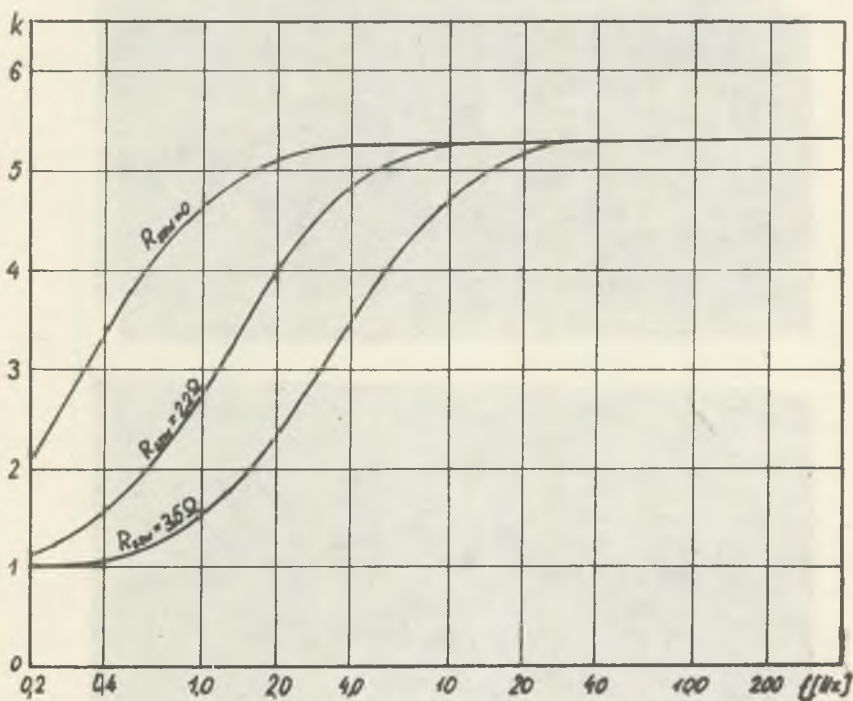
Parametry ω_1 i M_R zależą od sposobu zasilania silnika. W czasie pomiarów silnik zasilany był z elektronicznego stabilizatora prędkości obrotowej, stosowanego w magnetofonach kasetowych. Zasadę działania stabilizatora ilustruje rys. 7.

Stabilizator, pracując jako zasilacz prądu stałego z dodatnim prądowym sprzężeniem zwrotnym usztywnia charakterystykę mechaniczną silnika (efekt ujemnej rezystancji źródła zasilania). Wartość sprzężenia zwrotnego decyduje o prędkości kątowej biegu jałowego ω_1 oraz o momencie rozruchowym M_R silnika.

Tłumiące działanie momentu bezwładności tarczy wymaga przemnożenia mierzonej wartości $\Delta n\%$ przez współczynnik k , dla określenia dewiacji prędkości obrotowej silnika pracującego bez dodatkowej bezwładności

$$\Delta n\% = k \Delta n'_\%$$

Współczynnik k jest funkcją częstotliwości dewiacji prędkości obrotowej silnika przy parametrycznie stałej wartości rezystancji R_{szw} stabilizatora

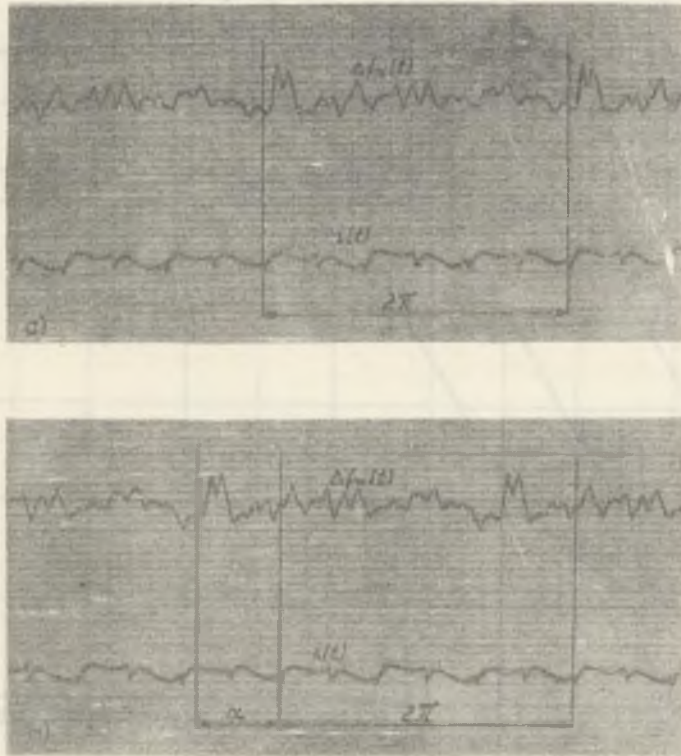


Rys. 8. Zależność współczynnika k od częstotliwości wahań prędkości obrotowej silnika E-3208 N z tarczą pomiarową o momencie bezwładności $\Delta I = 6,14 \cdot 10^{-6}$ kgm^2 przy różnych wartościach rezystancji R_{szw} w obwodzie sprzężenia zwrotnego stabilizatora

tora. Zależność $k = k(f_0)$ dla $\Delta I = 6,14 \cdot 10^{-6} \text{ kgm}^2$ i trzech różnych wartości R_{szw} przedstawia rys. 8.

Drugim czynnikiem wpływającym na wynik pomiaru dewiacji prędkości obrotowej silnika jest dokładność wykonania tarczy czujnika. W przypadku małej dokładności wykonania tarczy (nierówno nacięte zęby, brak współosiowości tarczy i wałka silnika) nawet przy idealnie stałej prędkości obrotowej wirnika, napięcie zbierane z czujnika będzie zmodulowane częstotliwościowo i miernik TP-677 wskaże różną od zera wartość dewiacji prędkości obrotowej.

Błąd pomiaru dewiacji prędkości obrotowej spowodowany niedokładnością wykonania tarczy czujnika jest trudny do oszacowania. Aby zmniejszyć go do minimum, wybrano spośród dużej ilości tarcz jedną, która dawała przy pomiarach najmniejsze wartości $\Delta n_{\%}$. Jednak i ta tarcza nie zapewniała bezbłędnego pomiaru. Świadczą o tym oscylogramy przedstawione na rys. 9.



Rys. 9. Wpływ położenia tarczy czujnika na przebieg $\Delta f_x(t)$

Oscylogramy ilustrują przebiegi prądu silnika oraz napięcia z wyjścia ANALIZATOR miernika TP-677. Napięcie to jest proporcjonalne do chwilowej

dewiacji częstotliwości $\Delta f_{\%} = f(t)$ przebiegu wyjściowego czujnika fotoelektrycznego.

W przypadku idealnego wykonania tarczy obowiązuje relacja

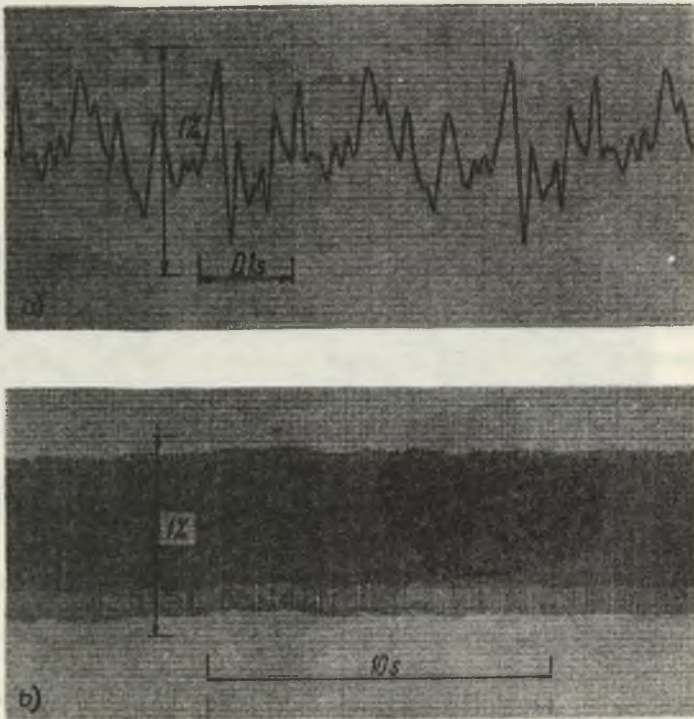
$$\Delta f_{\%}(t) = \Delta n'_{\%}(t), \quad (11)$$

gdzie:

$\Delta f_{\%}(t)$ - chwilowa wartość dewiacji częstotliwości sygnału z czujnika fotoelektrycznego,

$\Delta n'_{\%}(t) = \frac{n(t) - n_0}{n_0} 100\%$ - chwilowa wartość dewiacji prędkości obrotowej silnika.

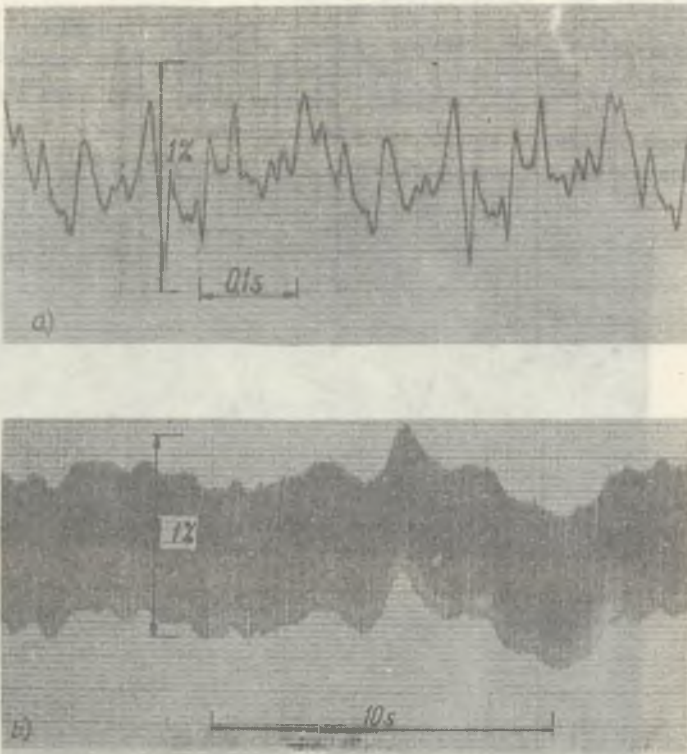
W rzeczywistości na przebieg czasowy dewiacji prędkości obrotowej $\Delta n'_{\%}(t)$ nakłada się przebieg zakłócający pochodzący od tarczy. Na oscylogramie (a) z rys. 9 zarejestrowano prąd silnika $i(t)$ oraz przebieg $\Delta f_{\%}(t)$ przy pewnym położeniu tarczy czujnika względem wirnika. Na oscylogramie (b) przedstawiono te same wielkości, ale po przekręceniu tarczy względem



Rys. 10. Czasowy przebieg $\Delta f_{\%}(t)$ silnika pracującego prawidłowo a) przy szybkiej podstawie czasu, b) przy wolnej podstawie czasu

wirnika o pewien kąt α . Jak widać z oscylogramów, przebieg $\Delta f_{\%}(t)$ przesunął się względem przebiegu prądu twornika $i(t)$, nie zmieniając praktycznie swego kształtu. Gdyby dewiacja $\Delta f_{\%}(t)$ była wywołana wyłącznie nierównomiernością prędkości obrotowej silnika, zmiana położenia tarczy nie powodowałaby przesunięcia się względem siebie przebiegów $i(t)$ i $\Delta f_{\%}(t)$.

Z przeprowadzonych badań wynika, że silnik magnetofonowy E-3208 N daje jedynie wolnozmiennie wahania prędkości obrotowej, o okresie znacznie dłuższym od okresu jednego obrotu. Świadczą o tym oscylogramy z rys. 10 i rys. 11.



Rys. 11. Czasowy przebieg $\Delta f_{\%}(t)$ silnika wykazującego dużą nierównomierność prędkości obrotowej

a) przy szybkiej podstawie czasu, b) przy wolnej podstawie czasu

Na rys. 10 przedstawiono przebiegi $\Delta f_{\%}(t)$ dla najlepszego silnika z przebadanej partii. Oscylogram (a) został zdjęty przy szybkiej podstawie czasu (250 cm/s), natomiast oscylogram (b) przy wolnej (1 cm/s). Na rys. 11 są przedstawione takie same przebiegi, ale dla silnika wykazującego dużą nierównomierność prędkości obrotowej.

Z porównania oscylogramów (a) z obydwóch rysunków widać, że nie różnią się one wyraźnie między sobą, mimo dużej różnicy w nierównomierności prędkości obrotowej jednego i drugiego silnika. Natomiast różnice w przebiegu $\Delta f_{\%}(t)$ obserwowane w długich okresach czasu są wyraźne, co ilustrują oscylogramy (b).

Jak widać na oscylogramie (b) z rys. 8 obwiednia przebiegu $\Delta f_{\%}(t)$ jest praktycznie linią prostą. Można więc przyjąć, że silnik nie wykazuje nierównomierności biegu, gdyż szybkozmienne składowe $\Delta f_{\%}(t)$ wywołane są, jak to zostało stwierdzone poprzednio, niedokładnością wykonania tarczy.

W przypadku, gdy silnik pracuje nierównomiernie przebieg $\Delta f_{\%}(t)$ jest sumą dewiacji prędkości obrotowej $\Delta n'_{\%}(t)$ i sygnału zakłóceń $\Delta z_{\%}(t)$ pochodzących od tarczy pomiarowej. Ponieważ częstotliwość zakłóceń jest znacznie wyższa od częstotliwości dewiacji, wielkości te można sumować algebraicznie.

Zatem

$$\Delta n'_{\%} = \Delta f_{\%} - \Delta z_{\%} \quad (12)$$

3. Analiza wpływu zakłóceń na równomierną pracę silnika

Do rozważań przyjęto następujące źródła zakłóceń:

- iskrzenie szczotek,
- zmienność momentu obciążenia,
- nierówna liczba zwojów w poszczególnych zezwojach twornika,
- wysunięcie szczotek ze strefy neutralnej,
- niewyważenie wirnika,
- nierównomierność szczeliny powietrznej.

Badania przeprowadzono przy pomocy przetwornika fotoelektrycznego wprowadzającego błąd $\Delta z_{\%} = 0,070\%$. Stwierdzono, że głównymi przyczynami dewiacji prędkości obrotowej jest iskrzenie szczotek oraz wahania momentu obciążenia. Wartość dewiacji prędkości obrotowej silników iskrzących zawierała się w granicach

$$0,13\% \leq n_{\%} \leq 1,3\%$$

Dewiacja silników nieiskrzących nie przekraczała wartości 0,15%. Nie zauważono wpływu stabilizatora prędkości obrotowej na nierównomierność prędkości spowodowaną iskrzeniem szczotek.

Wpływ iskrzenia szczotek na nierównomierność prędkości silnika tłumaczy się następująco: prąd płynący przez twornik jest uwarunkowany tylko momentem obciążenia. Iskrzenie szczotek zmienia rezystancję wewnętrzną silnika ρ . Przy stałym napięciu zasilania powoduje to zmianę SEM indukowanej w tworniku, co pociąga za sobą zmianę prędkości obrotowej.

Stabilizator prędkości obrotowej stosowany w magnetofonach kasetowych można przedstawić jako źródło napięcia stałego o ujemnej rezystancji wewnętrznej (rys. 7). W czasie iskrzenia szczotek wypadkowa rezystancja silnika i stabilizatora ulega wahaniom, wywołując dewiację prędkości obrotowej (podobnie jak przy zasilaniu silnika napięciem stałym).

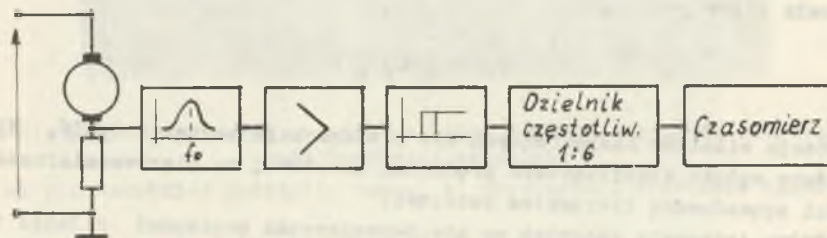
Drugą istotną przyczyną nierównomierności prędkości obrotowej są wahania momentu obciążenia. Stabilizator, usztywniając charakterystykę mechaniczną silnika, wybitnie zmniejsza wpływ tych zakłóceń (2 do 4 razy).

Bardzo mały wpływ na dewiację prędkości obrotowej mają pozostałe czynniki. Na przykład nierówna liczba zwojów w granicach $\pm 10\%$ daje niezauważalną pomiarowo zmianę dewiacji prędkości obrotowej. Również wysunięcie szczotek ze strefy neutralnej o kąt $\alpha \leq 15^\circ$ nie wpływa na wartość dewiacji prędkości obrotowej. Niewyważenie wirnika w granicach 10^{-9} kgm^2 oraz nierównomierna szczelina w granicach 0,05 mm mają niezauważalny pomiarowo wpływ na dewiację prędkości obrotowej.

4. Metoda pomiaru nierównomierności prędkości obrotowej dla potrzeb produkcji masowej

Miernik nierównomierności prędkości obrotowej mikrosilników stosowany w warunkach produkcji masowej musi spełniać szereg wymagań narzuconych przez parametry samego silnika, a ponadto powinien być dopasowany do współpracy z taśmą produkcyjną. Przyrząd ma zapewnić szybką kontrolę silników na linii produkcyjnej bez konieczności obciążania silników czujnikami pomiarowymi. Miernik skonstruowany w tym celu w Zakładzie Maszyn Elektrycznych mierzy czas jednego obrotu wirnika.

Przy konstrukcji miernika uwzględniono, że informacja o prędkości obrotowej silnika E-3208 N jest zakodowana w przebiegu prądu. Prąd silnika, oprócz składowej stałej, zawiera cały szereg wyższych harmonicznych, które są generowane przez punktowy styk szczotek z komutatorem.



Rys. 12. Schemat blokowy miernika okresu jednego obrotu silnika typu E-3208 N

Wśród składowych przemiennych prądu silnika dominuje harmoniczna o częstotliwości $f = \frac{n}{T_0}$ (n - w obr/min.), gdyż prąd silnika jest w czasie jednego obrotu wirnika przerywany sześciokrotnie.

Na wejście miernika (rys. 12) przyłożone jest napięcie proporcjonalne do prądu silnika (spadek napięcia z rezystancji $R = 10 \pm 50 \Omega$ włączonej szeregowo w obwód silnika).

Sygnal ten jest podawany poprzez filtr pasywny LC o częstotliwości rezonansowej $f_0 = 200$ Hz na wielostopniowy wzmacniacz tranzystorowy. Po wzmocnieniu i uformowaniu na przerzutniku Schmitta otrzymuje się przebieg prostokątny, którego częstotliwość jest zmniejszana sześciokrotnie za pomocą logicznego dzielnika częstotliwości, zbudowanego z elementów scalonych TTL. Okres otrzymanego przebiegu mierzy się czasomierzem cyfrowym.

Przy niewielkich wahaniami prędkości obrotowej (a takie występują w badanym silniku) procentowa wartość odchyłki prędkości obrotowej od wartości średniej jest równa procentowej wartości odchyłki czasu obrotu silnika od średniego czasu obrotu, bowiem

$$n = \frac{60}{T} \quad (13)$$

Przy zmianie prędkości obrotowej o Δn , okres obrotu zmieni się o ΔT

$$n_0 + \Delta n = \frac{60}{T_0 - \Delta T}$$

gdzie:

n_0 , T_0 - odpowiednie wartości średnie.

Ponieważ dla wartości średnich jest spełniony związek

$$n_0 = \frac{60}{T_0}$$

to

$$\Delta n = 60 \frac{\Delta T}{T_0(T_0 - \Delta T)}$$

Dla małych wartości

$$\Delta T \ll T_0$$

zachodzi

$$\Delta n = \frac{60}{T_0^2} \Delta T \quad (14)$$

Obliczając procentową odchyłkę prędkości obrotowej otrzymuje się

$$\Delta n_{\%} = \frac{\Delta n}{n_0} 100\% = \frac{\frac{60}{T_0} \cdot \Delta T}{\frac{60}{T_0}} 100\% = \frac{\Delta T}{T_0} 100\%$$

Ostatecznie

$$\Delta n_{\%} = \Delta T_{\%} \quad (15)$$

gdzież

$$\Delta T_{\%} = \frac{\Delta T}{T_0} \cdot 100\%$$

Mierząc czas jednego obrotu silnika i obliczając procentową odchyłkę czasu jednego obrotu od wartości średniej (ustalonej na podstawie kilku pomiarów) otrzymuje się tym samym procentową odchyłkę prędkości obrotowej od jej wartości średniej mierzoną w czasie około 0,03 s.

$\Delta T_{\%}$ określa się w następujący sposób: miernikiem czasu jednego obrotu silnika wykonuje się k pomiarów. Z pomierzonych wartości oblicza się wartość średnią

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^k T_i}{k} \quad (16a)$$

oraz

$$\Delta T = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} \quad (16b)$$

Procentowa nierównomierność prędkości obrotowej wynosi:

$$\Delta n_{\%} = \Delta T_{\%} = \frac{\Delta T}{T_0} \cdot 100\% \quad (16c)$$

Ponieważ średnie okresy jednego obrotu silników badanej partii różnią się nieznacznie od siebie, zatem kontrolę równomierności biegu silników można ograniczyć do sprawdzenia czy czasy ΔT mieszczą się w założonych granicach.

LITERATURA

- [1] Głuski T., Próchnicki M. - Magnetofon MK-125. Budowa, działanie, naprawa. WKŁ Warszawa 1973.
- [2] Jakowlew W.N. - Technika impulsowa. Poradnik. WNT Warszawa 1973.
- [3] Urbański B. - Magnetyczny zapis dźwięków i obrazów. WKŁ - Warszawa 1971.

Przyjęto do druku w lipcu 1975 r.

К ВОПРОСУ НЕРАВНОМЕРНОСТИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ
МАГНИТОФОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Р е з ю м е

Высокое качество магнитофона зависит в большой степени от равномерной скорости вращения двигателя, в связи с чем производители фониических двигателей должны подробно изучить причины их неравномерной скорости вращения. Это, несомненно, одна из важнейших проблем двигателей с малой мощностью и небольшим инерционным моментом, напр., двигателей, возбуждаемых от постоянных магнитов, которые используются в кассетных магнитофонах.

В статье предложена методика измерения скорости вращения и ее неравномерности в двигателях малой мощности. Используя результаты лабораторных исследований, определены основные источники нарушения неравномерной скорости вращения двигателя E-3208 N.

NON-UNIFORMITY OF ROTATIONAL SPEED
IN TAPE-RECORDER MOTORS

S u m m a r y

Detailed analysis of several causes of rotational speed deviation was presented, according to the requirements of rotational motor speed uniformity in phonic devices. This problem is of particular importance in case of fractional power rating motors with low inertia constant (e.g. the d.c. motor with permanent magnets used in cassette tape-recorders). The measurement methods of rotational speed and speed deviation were presented. On the basis of the laboratory tests the main disturbance sources of uniform rotational speed in the E-3208 N - type motors were determined.