

# Hałas dławików indukcyjnych

Mirosław Łukiewski

**Elhand Transformatory jest producentem dławików indukcyjnych stosowanych w układach napędowych, w prostowniczych filtrach wygładzających łącznikach prądu stałego. Są to dławiki pracujące często w zakresie średnich częstotliwości, gdzie oprócz podstawowych parametrów użytkowych, takich jak indukcyjność czy wartość prądu nasycenia, ważny z punktu widzenia eksploatacji okazuje się hałas generowany przez urządzenie. Pole akustyczne powstające wokół dławika w skrajnym przypadku może osiągać wartości utrudniające pracę ludzi w pobliżu. Artykuł przedstawia źródła pola akustycznego dławików indukcyjnych.**

**Słowa kluczowe:** dławik indukcyjny, magnetostrykcja, siły magnetyczne.

## Rdzeń magnetyczny dławika indukcyjnego

Miejsca, w których powstają drgania tworzące pole akustyczne wokół dławika, to rdzeń magnetyczny, uzwojenia dławika oraz urządzenia wentylacyjne służące do poprawy warunków chłodzenia. Fale dźwiękowe przenoszą się do otoczenia poprzez otaczające powietrze, konstrukcję rdzenia, izolację między uzwojeniami oraz elementy mocujące dławik do obudowy lub fundamentu. W przypadku dławików dominującą rolę w generowaniu drgań odgrywa rdzeń magnetyczny [1].

Konstrukcję dwukolumnowego rdzenia dławika wykonanego z anizotropowej blachy elektrotechnicznej przedstawia rys. 1. Szczelinę powietrzną podzielono na kilka mniejszych szczelin rozmieszczonych równomiernie na wysokości kolumn. Zabieg ten pozwala uzyskać równomierny rozkład indukcji w rdzeniu. Mniejsze szerokości szczelin ograniczają wartość strumienia rozproszenia, a tym samym wartość strat dodat-

kowych w rdzeniu, płaskownikach kolumnowych, belkach jarzmovych oraz w uzwojeniu. Zmniejszają się również starty indukcyjne powstające we wszelkich ferromagnetycznych konstrukcjach znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu dławika.

## Magnetostrykcja

Magnetostrykcja, przejawiająca się zmianą wymiarów ciała ferromagnetycznego podczas magnesowania, jest bezpośrednim przejawem występowania wewnętrznych sił magnetycznych.

Magnetostrykcję opisuje współczynnik magnetostrykcji [1]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

gdzie:  $l$  – długość elementu ferromagnetycznego;

$\Delta l$  – zmiana długości tego elementu.

Współczynnik magnetostrykcji jest funkcją indukcji występującej w materiale ferromagnetycznym i zmienia się okresowo wraz ze zmianami indukcji [1]:

$$\varepsilon(t) = k \cdot B_m^2 \cdot \cos^2 \omega t =$$

$$= \frac{k l \cdot B_m^2}{2} (1 + \cos 2\omega t)$$

gdzie:  $kl$  – stały współczynnik dla blachy;

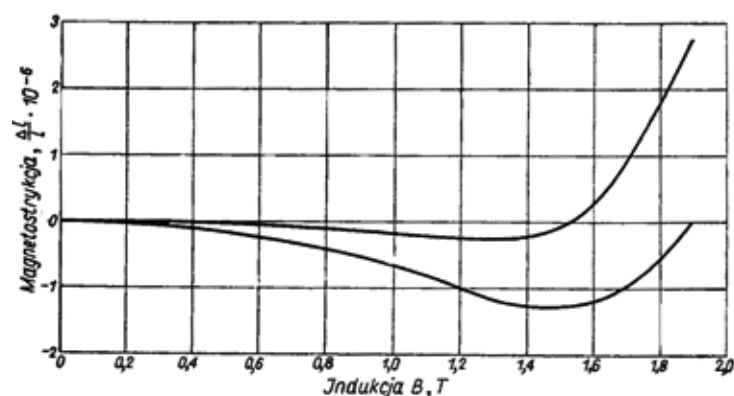
$B_m$  – indukcja maksymalna w rdzeniu;

$\omega$  – pulsacja napięcia zasilającego.



Rys. 1. Wieloszczelinowy rdzeń dławika jednofazowego wykonany z blachy transformatorowej

Wartość współczynnika  $\varepsilon$  zależy od składu chemicznego blachy, a szczególnie od zawartości w niej krzemu. Domieszka krzemu ok. 6,5% wywołuje w zasadzie zanik magnetostrykcji, lecz powoduje również, iż blacha staje się twarda i krucha. Na wartość współczynnika magnetostrykcji znaczący wpływ mają także naprężenia mechaniczne występujące w ferromagnetyku, powstające wskutek działania sił rozciągających lub ściskających rdzeń. Rozciąganie blach wywołuje zmniejszenie, a ściskanie blach zwiększenie współczynnika magnetostrykcji. Konieczność usztywnienia konstrukcji rdzenia wymusza zastosowanie płaskowników kolumnowych ściskających blachy (rys. 1). Śruby przebiegające przez kolumny, mocujące płaskowniki, również zwiększają wartość



Rys. 2. Przebieg zmian współczynnika magnetostrykcji dla blachy transformatorowej [3]

współczynnika magnetostrykcji, lecz są rozwiązaniem dla tego typu rdzeni optymalnym. W przedstawionej konstrukcji rdzenia podział kolumny na szereg krótszych odcinków blach ogranicza magnetostrykcyjne liniowe wydłużenie względne elementów kolumnowych. Wpływa to znacząco na zmniejszenie generowanego hałasu [1, 2, 3].

Orientacyjny, wyznaczony doświadczalnie zakres zmian współczynnika magnetostrykcji dla blach transformatorowych przedstawia rys. 2. Dokładną wartość współczynnika dla danego typu blachy określa producent.

**Siły działające na rdzeń magnetyczny**

Na rdzeń magnetyczny przemieszczony okresowo działają siły magnetyczne i magnetostrykcyjne. Działające siły wywołują okresowo zmienne naprężenia i drgania elementów konstrukcji rdzenia.

Siły magnetyczne działają pod wpływem indukcji magnetycznej między izolowanymi wykrojami blach. Siły wywołane składową strumienia prostopadłą do powierzchni blach mają niewielkie wartości i są eliminowane przez konstrukcję mocującą rdzenia. Belki jarzmowe oraz płaskowniki kolumnowe powodują ściskanie blach w kierunku prostopadłym do ich powierzchni, przeciwdziałając prostopadłym siłom magnetycznym powodującym tak zwane „trzępotanie” blach (rys. 1). Siły równoległe do kierunku strumienia, występujące w miejscach połączeń poszczególnych elementów kolumny, mogą osiągać znaczne wartości. W przedstawionej konstrukcji rdzenia jarzmo i kolumny oraz wszystkie elementy kolumnowe połączone są na styk, bez zaplecenia charakterystycznego dla rdzeni transformatorowych. W przestrzeni między elementami kolumnowymi oddzielonymi warstwą dielektryka (szczeliny) na jednostkę powierzchni działa siła magnetyczna [1]:

$$p = \frac{b^2}{2} \left( \frac{1}{\mu_o} - \frac{1}{\mu_b} \right) \approx \frac{b^2}{2 \cdot \mu_o}$$

- gdzie :  $b$  – wartość chwilowa indukcji w szczeliny;  
 $\mu_o$  – przenikalność magnetyczna próżni w przybliżeniu równa przenikalności dielektryka;  
 $\mu_b$  – przenikalność magnetyczna blachy.

Wartość chwilową siły magnetycznej opisuje równanie [1]:

$$p(t) = \frac{B_m^2}{4\mu_o} (1 + 2\omega t)$$

Siła magnetyczna działająca na elementy rdzenia zmienia się z częstotliwością dwukrotnie większą od częstotliwości zmian indukcji w rdzeniu.

Drgania magnetostrykcyjne powstające w rdzeniu nie przebiegają sinusoidalnie. Wskutek występowania histerezy magnetostrykcyjnej nawet przy sinusoidalnym przebiegu indukcji powstające drgania będą zawierały szereg drgań harmonicznych [1] :

$$fv = 2 \cdot v \cdot f1$$

- gdzie:  $fv$  – częstotliwość drgań harmonicznych;  
 $v$  – rząd harmonicznej drgań magnetostrykcyjnych;  
 $f1$  – częstotliwość zmian strumienia w rdzeniu.

Amplitudę drgań wzdłużnych harmonicznej podstawowej można w przybliżeniu wyznaczyć [1]:

$$\Delta l = \frac{\Delta l}{2} = \frac{\epsilon \cdot l}{2}$$

- gdzie:  $\Delta l$  – wydłużenie magnetostrykcyjne bezwzględne;  
 $\epsilon$  – współczynnik magnetostrykcji blachy;  
 $l$  – długość kolumny, elementu kolumnowego.

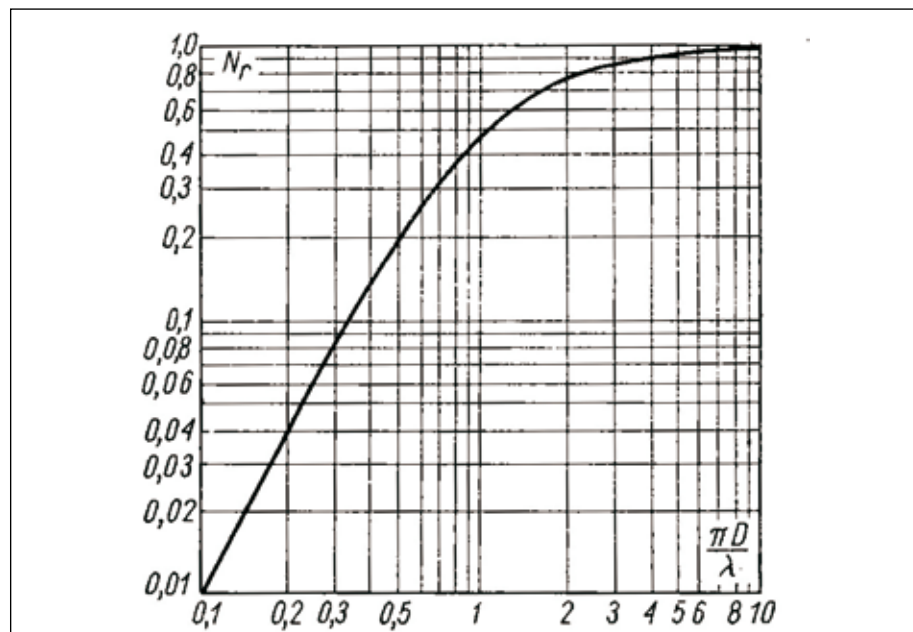
Amplitudy wyższych harmonicznych drgań stanowią kilkanaście do kilkudziesięciu procent amplitudy podstawowej i maleją wraz ze wzrostem rzędu harmonicznej.

Siłę magnetostrykcyjną powodującą zmianę długości kolumny o wartość wydłużenia względnego  $\epsilon$  pod wpływem działania indukcji  $Bm(t)$  wyznacza my [1]:

$$F(t) = \epsilon(t) \cdot E \cdot A$$

- gdzie:  $E$  – moduł sprężystości wzdłużnej (moduł Younga);  
 $\epsilon(t)$  – współczynnik magnetostrykcji blachy;  
 $A$  – pole przekroju kolumny.

Wartość siły magnetostrykcyjnej zmienia się w czasie z częstotliwością dwukrotnie większą od częstotliwości zmian indukcji. Wartość maksymalna siły magnetostrykcyjnej jest zwykle kilkanaście razy większa od maksymalnej siły magnetycznej działającej na rdzeń. Z tego powodu magnetostrykcja uważana jest za główne źródło hałasu w dławikach. W rdzeniu jednofazowym wykonanym z blachy o tym samym współczynniku magnetostrykcji siły magnetostrykcyjne powodują cykliczne skracanie i wydłużanie elementów kolumnowych i jarzmowych rdzenia. Wystąpią zatem jedynie drgania podłużne jarzm i kolumn. Inaczej przebiega to w rdzeniu trójfazowym. W poszczególnych fazach strumienia magnetyczne są przesunięte względem siebie, co powoduje, że wartości maksymalne sił nie występują jednocześnie.



Rys. 3. Krzywa  $N_r$  dla drgającej kuli o średnicy  $D$  [1]

nie we wszystkich fazach. W takiej sytuacji w częściach rdzenia połączonych ze sobą mechanicznie pojawiają się siły poprzeczne powodujące jego zginanie. Rdzeń magnetyczny stanowiący mechaniczną, zwartą konstrukcję posiada teoretycznie nieskończenie wiele częstotliwości drgań własnych. W przedziale częstotliwości słyszalnych może wystąpić ich kilka. Między częstotliwością drgań własnych rdzenia a częstotliwościami drgań magnetycznych i magnetostrykcyjnych powstających w rdzeniu powinna być zachowana duża różnica, by nie wystąpiło zjawisko wtórnych drgań rezonansowych. Korygować częstotliwości drgań własnych rdzenia można na różne sposoby, radykalnie zmieniając jego wymiary lub na przykład zmieniając tylko siłę docisku płaskowników kolumnowych czy belek jarzmowych [1].

Poniższa zależność z dużym przybliżeniem pozwala wyznaczyć poziom natężenia dźwięku  $L(dB)$  generowanego przez dławik, uwzględniając jedynie zjawisko magnetostrykcji oraz przyjmując, że dławik jest kulistym źródłem fal dźwiękowych [1]:

$$L = 73,1 + 20 \lg \frac{f_d}{100} + 20 \lg l + 20 \lg(\xi \cdot 10^6) + 10 \lg N_r$$

gdzie:  $f_d$  – częstotliwość drgań podstawowych rdzenia dla napięcia zasilającego o częstotliwości 50 Hz,  $f_d = 100$  Hz;

- $\epsilon$  – współczynnik magnetostrykcji blachy;
- $N_r$  – natężenie dźwięku dla drgającej kuli (rys. 3);
- $\lambda = c/f$  – długość fali dźwiękowej;
- $c \sim 343 \text{ m/s}$  – prędkość dźwięku dla powietrza.

W przypadku złożonej konstrukcji rdzenia najskuteczniejszym sposobem ograniczenia hałasu jest zmniejszenie wartości indukcji w rdzeniu. Powoduje to jednak wzrost masy i ceny urządzenia.

#### Literatura

- [1] JEZIERSKI E. (RED.): *Budowa i obliczanie rdzeni transformatorów energetycznych*. Wyd. WNT, Warszawa 1979.
- [2] JEZIERSKI E.: *Transformatory. Podstawy teoretyczne*. Wyd. WNT, Warszawa 1965.
- [3] GROYECKI J., KOPIEC J., MAJCHRZAK H., PAWELEK W., ZAWADA A.: *Charakterystyki stali*, seria G, tom I, część 1, Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1982.

**ELHAND TRANSFORMATORY**  
ul. PCK 22  
42-700 Lubliniec  
e-mail: m.lukiewski@elhand.pl

## Wydarzenia

○ Złoto dla wynalazców z GIG Złoty medal Międzynarodowych Targów Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technik Brussels Innova 2008 odebraли wynalazcy za laserowy system kontroli parametrów geometrii rury szybowej i zbrojenia szybowego. Wynalazek to dzieło zespołu fachowców Głównego Instytutu Górnictwa (GIG) w Katowicach.

Urządzenie umożliwia dokładne wytyczanie bezwzględnie pionu optycznego wraz z ciągłą kontrolą jego stabilności. Układ detekcyjny umożliwia precyzyjny pomiar położenia przewodnika naczyń szybowego względem plamki laserowej i rejestrację danych pomiarowych w rejestratorze cyfrowym. Jest w znacznym stopniu odporny na wpływ wody i turbulencji powietrza. System pomiarowy prowadzi automatycznie pomiary w odniesieniu do pionu laserowego w trakcie ciągłej jazdy naczyń wyciągowego i uzyskuje wyższe od wymaganych dokładności pomiaru - informuje GIG.

Opracował je zespół autorów GIG w składzie: Mariusz Szot, Adam Szade, Wojciech Bochenek, Henryk Passia oraz Adam Ramowski, Tomasz Białożyty i Tadeusza Smoła Wynalazek inżynierów eliminuje prace przygotowawcze, związane z opuszczaniem i kontrolą pionów mechanicznych, ogranicza ilość osób prowadzących pomiary i istotnie skraca czas ich wykonania.

■ /MarJon/

**elhand**   
TRANSFORMATORY

**TRANSFORMATORY**  
moc od 0,05 kVA do 1600 kVA

### DŁAWIKI

silnikowe  
sieciowe  
filtracyjne  
kompensacyjne  
wygładzające  
sprzęgające  
specjalne

### ZASILACZE DC

### URZĄDZENIA SPECJALNE

wyróżnia nas jakość

42-700 Lubliniec, ul. PCK 22  
tel. (+48 34) 353 17 10, 351 32 20  
fax (+48 34) 356 40 03  
e-mail: info@elhand.pl www.elhand.pl