

trafeco[®]
Transformers & Inductive Components



Transformatory i elementy magnetyczne
stosowane w przekształtnikach
energoelektronicznych

Mirosław Łukiewski

2020.01.27 (poniedziałek), godzina 11:15, sala 28 w budynku D-1

trafeco[®]
Transformers & Inductive Components



O firmie:

- Jesteśmy polskim producentem transformatorów, filtrów i elementów indukcyjnych
- Firma TRAFECO Sp. J. powstała z połączenia dwóch firm działających od lat na rynku elektrotechnicznym
- Rozwijamy technologię i bazę produktów prowadząc prace badawczo-rozwojowe, współpracując z uczelniami i ośrodkami naukowymi
- Wiedza i doświadczenie kadry technicznej pozwala nam dostarczać transformatory oraz elementy indukcyjne do wszystkich niemal gałęzi przemysłu. Produkujemy również urządzenia nietypowe projektowane i testowane na zamówienie
- Współpracujemy z naszymi Klientami poprzez indywidualne podejście do projektów. służyliśmy też wsparciem technicznym na etapie eksploatacji naszych urządzeń.



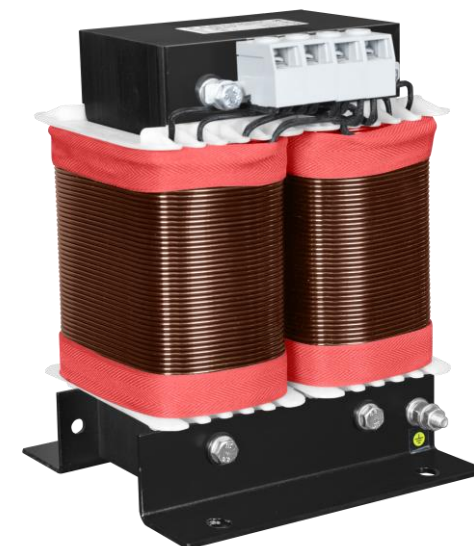
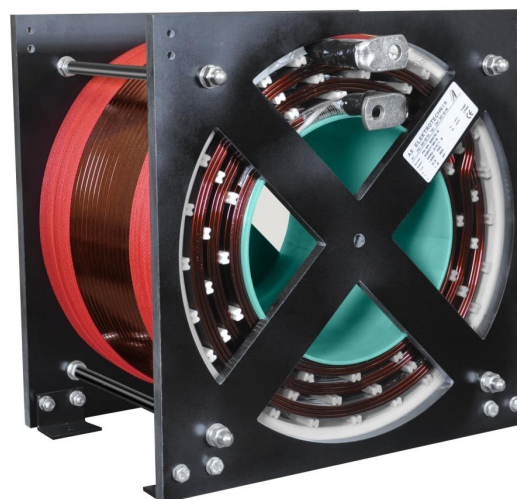
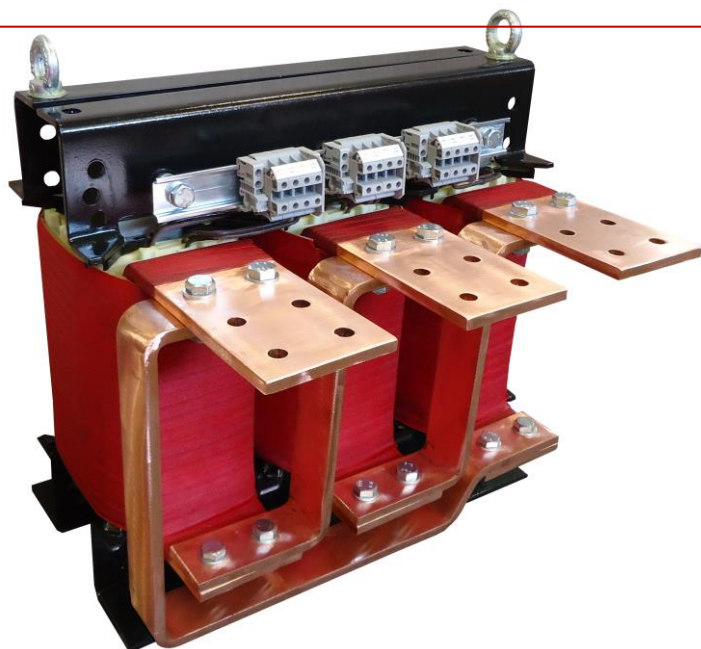
Nasze produkty znajdują zastosowanie w :

- energoelektronice,
- systemach napędowych, automatyki i sterowania,
- przemyśle stoczniowym,
- przemyśle górniczym,
- pojazdach i infrastrukturze kolejowej,
- urządzeniach i obiektach medycznych,
- przemyśle galwanicznym i grzejnictwie przemysłowym
- energetyce oraz wielu innych gałęziach przemysłu



Zakres produkcji :

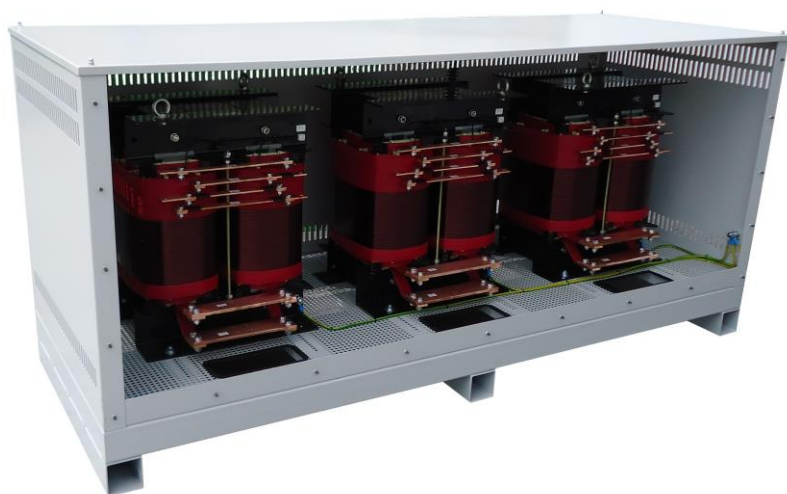
- Transformatory niskiego napięcia
- Dławiki
 - sieciowe , silnikowe, ograniczające du/dt
 - kompensacyjne , rezonansowe
 - wygładzające, sprzęgające, dławiki wyższych częstotliwości
- Cewki powietrzne AirECO™
- Filtry sinusoidalne SinECO™ i filtry harmoniczných ThdECO™
- Zasilacze prądu stałego
- Urządzenia specjalne, elementy prototypowe



Transformatory niskonapięciowe

Projektujemy i produkujemy transformatory i autotransformatory niskiego napięcia do 6kV, jedno i trójfazowe o mocach od 50 VA do 2500 kVA. Wykonujemy urządzenia w klasach temperaturowych izolacji B, F i H, z chłodzeniem powietrznym i wodnym, naturalnym lub wymuszonym. Dostarczamy transformatory w obudowach o stopniu ochrony IP23, IP44 lub IP54.

- Transformatory separacyjne, oddzielające i mocy
- Transformatory w wykonaniu morskim
- Transformatory przekształtnikowe
- Transformatory medyczne
- Transformatory i zestawy transformatorów piecowych



Grupy połączeń uzwojeń transformatorów



Symbol literowy

określa sposób połączeń uzwojeń:

duże litery Y – gwiazda ; D – trójkąt - dla napięć pierwotnych

małe litery y – gwiazda ; d – trójkąt ; z – zygzak - dla napięć wtórnych

litera N – oznacza wyprowadzenie zacisku neutralnego uzwojenia pierwotnego na listwę zaciskową

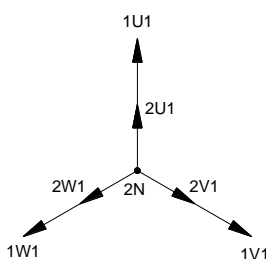
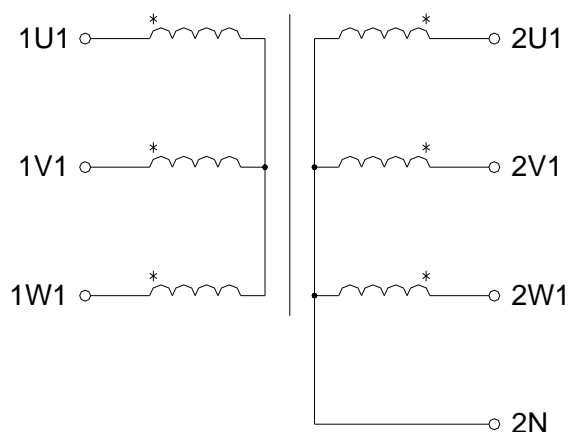
litera n – oznacza wyprowadzenie zacisku neutralnego uzwojenia wtórnego na listwę zaciskową

Symbol cyfrowy

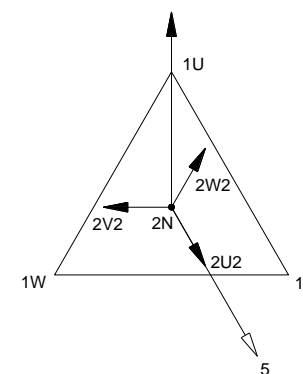
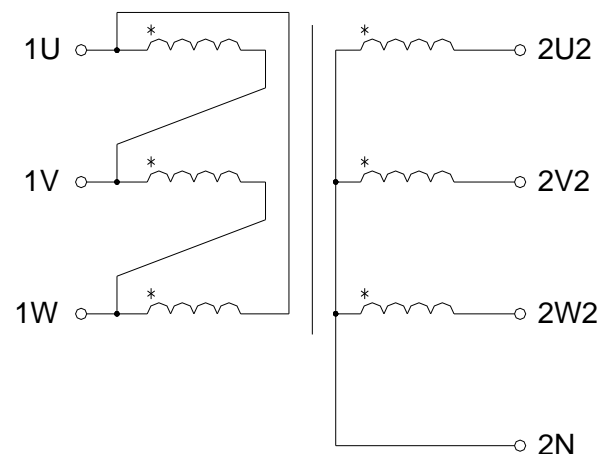
określa wzajemne przesunięcie wskazu napięcia wyjściowego (np. 2U) w stosunku do wskazu napięcia wejściowego (1U). Przesunięcie fazowe wyrażone jest w godzinach od 0 do 11, zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

Np.: układ połączeń Dy5 oznacza przesunięcie fazowe napięcia 2U w stosunku do napięcia 1U o 5 godzin. Jedna godzina jest równa przesunięciu o 30 stopni elektrycznych

Yyn0



Dyn5



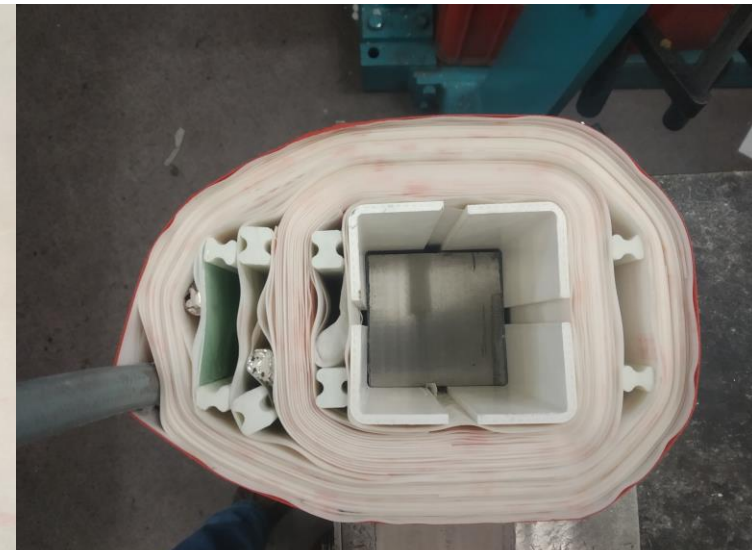
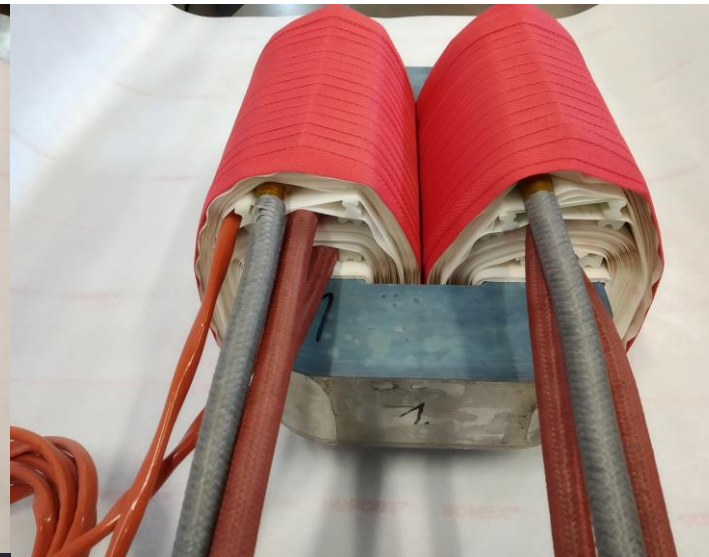
Klasa temperaturowa materiałów izolacyjnych

Klasa izolacji, jest to określony literowo rodzaj zastosowanych materiałów izolacyjnych, informujący o maksymalnej temperaturze pracy transformatora. Jej przekroczenie przy pracy ciągłej skraca żywotność oraz czas bezawaryjnej pracy transformatora.

Symbol klasy izolacji	Temperatura maksymalna trwale dopuszczalna	Maksymalny przyrost temperatury uzwojeń dla max temp. otoczenia 40°C wg. IEC 61558	Maksymalny przyrost temperatury uzwojeń dla max temp. otoczenia 40°C wg. EN 60726
	[°C]	[°C]	[°C]
A	105	60	60
E	120	75	75
B	130	80	80
F	155	100	100
H	180	125	125
C	220	---	150



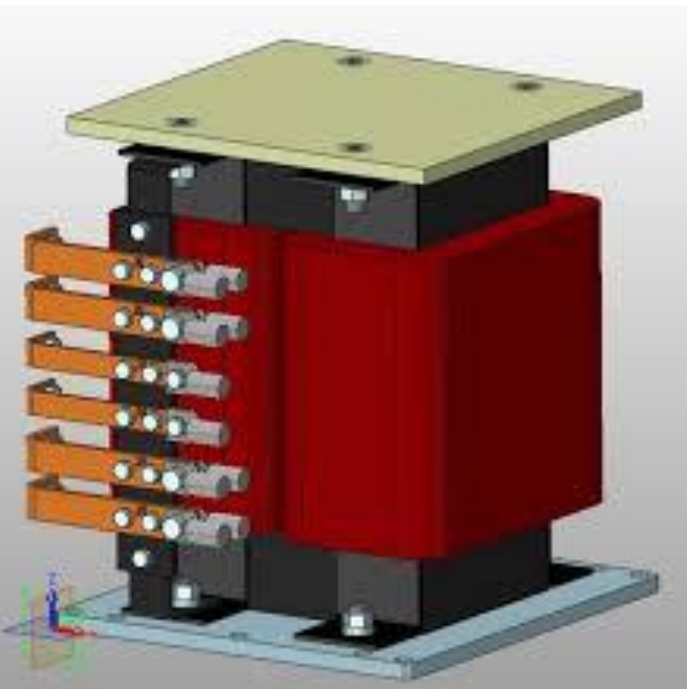
Transformatory przekształtnikowe średniej częstotliwości



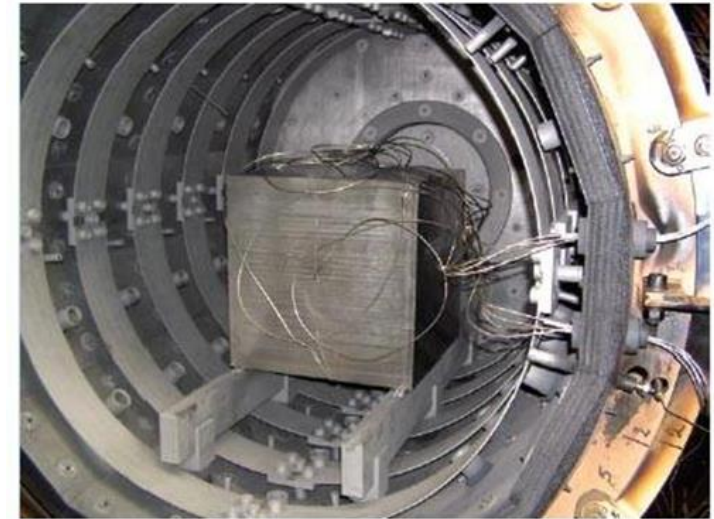
Nisko-stratne materiały magnetyczne

Podstawowym działaniem ograniczającym straty w rdzeniu jest zastosowanie materiału magnetycznego o niskich stratach histerezowych oraz blach o niewielkiej grubości co ogranicza straty wiropądowe w rdzeniu. W przypadku dławików z rdzeniami szczelinowymi to nie wystarcza.

Materiał magnetyczny	Stalprodukt	JFE Steel Corp.	IMN Gliwice	IMN Gliwice
	ET-150-27	10JNEX900	2605 SA1	FINEMET
Skład	Fe ~3,2%Si	Fe ~6,5%Si	Fe Si B	Fe Cu Nb Si B
Grubość blachy [μm]	270	100	~ 25	~ 25
Indukcja nasycenia [T]	1,84	1,8	1,56	1,24
Rezystywność [$\mu\Omega\text{m}$]	0,48	0,82	13,7	11,5
Stratność 10/400 [W/kg]	7,8	5,7	1,5	-
Magnetostrykcja [λ 10/400 $\times 10^{-6}$]	-0,8	0,1	27	0,1



Transformatory przekształtnikowe piecowe



Warunki pracy równoległej transformatorów:

- zgodność przekładni napięciowych ($< 0,5\%$)
- grupy połączeń takie same
- napięcia zwarcia takie same ($< 10\%$)
- równomierne obciążenie (moce $< 3:1$)

Stopień ochrony transformatora



Stopnie ochrony IP (International Protection, określony wg. EN-IEC 60529).

To stopień ochrony transformatora zapewnianej przez obudowę, wyznaczany w kilkustopniowej skali, określający stopień zabezpieczenia przed przedostawaniem się do wnętrza obudowy ciał stałych oraz wody.

Kod opisujący stopień ochrony składa się z dwóch cyfr.

Pierwsza cyfra kodu IP określa, stopień ochrony urządzenia wewnątrz obudowy przed dostaniem się do jego wnętrza ciał stałych a także stopień ochrony użytkownika przed bezpośrednim kontaktem z elementami urządzenia będącymi pod napięciem.

Druga cyfra kodu IP określa, stopień ochrony urządzenia wewnątrz obudowy przed dostaniem się do jego wnętrza wody.

IP00- brak specjalnej ochrony urządzenia

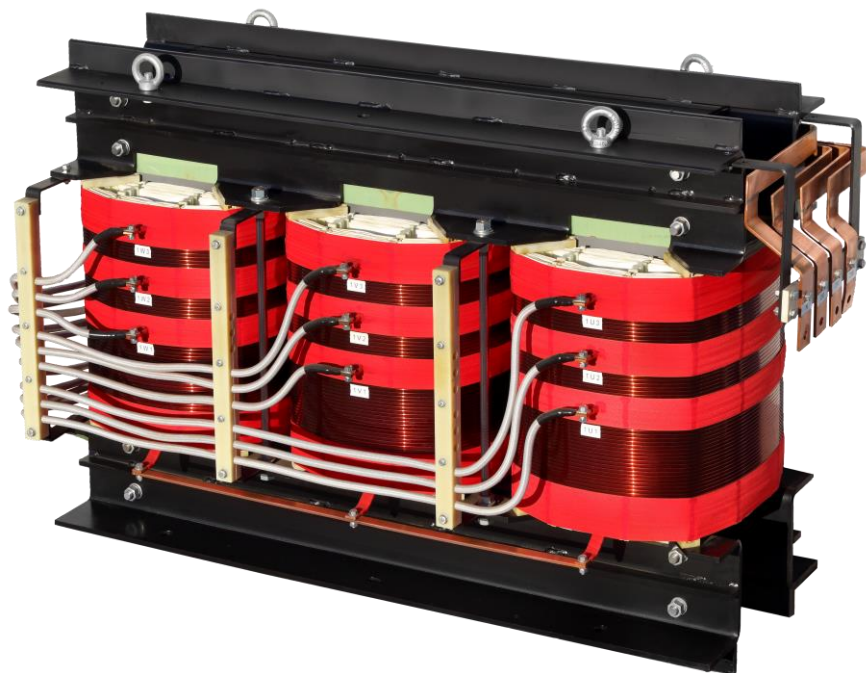
IP23- ochrona urządzenia przed przenikaniem przedmiotów o średnicy $\varnothing \geq 12$ mm, np.: palcem dłoni oraz przed kroplami wody spadającymi pod kątem $\leq 60^\circ$ od pionu (np.: deszczem)

IP44- ochrona urządzenia przed przenikaniem przedmiotów o średnicy $\varnothing \geq 1,0$ mm oraz przed bryzgami wody ze wszystkich stron

IP54- ochrona urządzenia przed przenikaniem jakichkolwiek przedmiotów i osiadaniem pyłu oraz przed bryzgami wody ze wszystkich stron



Transformatory w wykonaniu górniczym

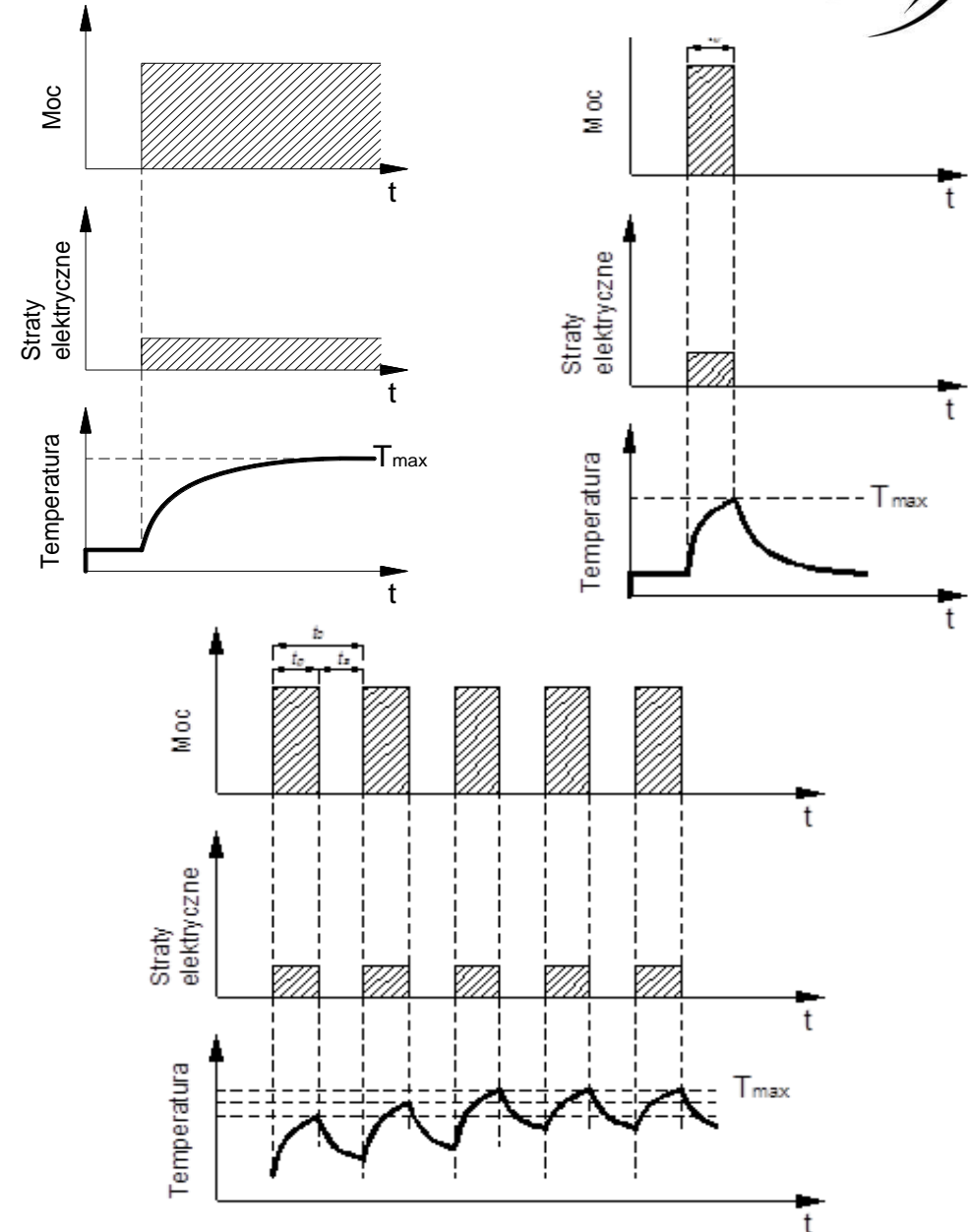


Rodzaje pracy transformatora

Praca ciągła – (S1), to praca z obciążeniem o stałej wartości w nieograniczonym okresie czasu lub co najmniej do osiągnięcia ustalonego przyrostu temperatury.

Praca dorywcza – (S2), to praca w określonym czasie, rozpoczynana od stanu zimnego transformatora, przy czym przerwy między okresami pracy są wystarczająco długie do ochłodzenia transformatora do temperatury bliskiej temperaturze otoczenia. Pracę dorywczą symbolizują znaki S2 oraz czas pracy t_p w minutach (np. S2-15min).

Praca przerywana – (S3), to praca wykonywana kolejno w określonych, jednakowych cyklach następujących po sobie, gdzie okresy pracy są oddzielone jednakowymi okresami przerw. Oznaczenie pracy przerywanej to np. S3-20%, gdzie wartość liczbowa oznacza procentowy stosunek czasu pracy t_p do czasu trwania okresu t_0 , czyli czasu pracy i następującej po nim przerwy.



Dławiki indukcyjne rdzeniowe

Produkujemy dławiki rdzeniowe przeznaczone do pracy w układach kompensacji mocy biernej, w układach napędów elektrycznych oraz energoelektronice. Wytwarzamy dławiki z chłodzeniem powietrznym i wodnym, naturalnym lub wymuszonym. Większość elementów indukcyjnych produkowana jest na bazie nisko-stratnych rdzeni wieloszczelinowych.

- Dławiki sieciowe , silnikowe, ograniczające du/dt
- Dławiki kompensacyjne , rezonansowe
- Dławiki wygładzające, sprzęgające, dławiki wyższych częstotliwości



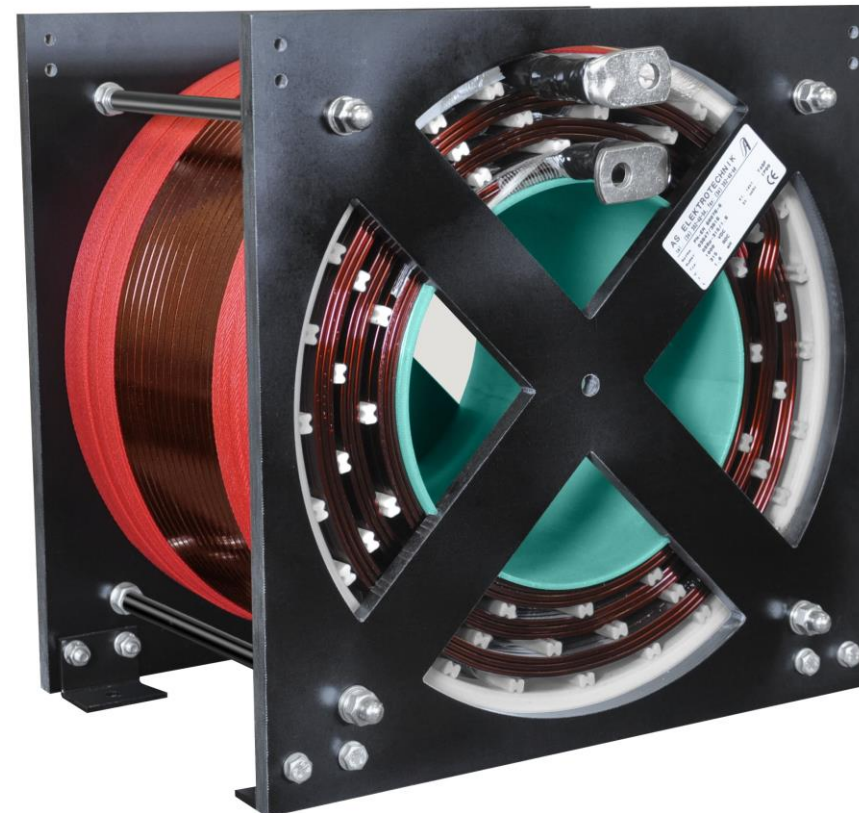
Cewki bezrdzeniowe typu AirECO™

Produkujemy jednofazowe i trójfazowe cewki bezrdzeniowe przeznaczone do aplikacji, w których wymagana jest liniowa charakterystyka indukcyjności. Cewki znajdują zastosowania między innymi jako elementy indukcyjne w elektrycznych filtrach LC, układach napędowych, energoelektronice oraz energetyce jako cewki ograniczające prądy zwarciove.



Ważne parametry techniczne:

Napięcie znamionowe	max. 6kV
Napięcie próby	do 15kV
Indukcyjność	wg specyfikacji
Prąd znamionowy	wg specyfikacji
Częstotliwość	50/60 Hz
Klasa temperaturowa	T40F/H
Rodzaj chłodzenia	AN / AF



Rodzaje chłodzenia transformatorów



Oznaczenie literowe rodzaju rodzaju chłodzenia, wg norm EN 60076, EN60726:

- Pierwsza litera - oznacza czynnik chłodzący uzwojenia,
- Druga litera - sposób wprowadzania w ruch czynnika chłodzącego uzwojenia,
- Trzecia litera - zewnętrzny czynnik chłodzący,
- Czwarta litera - sposób wprowadzania w ruch zewnętrznego czynnika chłodzącego,

Rodzaje czynnika chłodzącego

- A - chłodzenie powietrzne
- G - chłodzenie gazem innym niż powietrze
- W - chłodzenie wodą

Sposób wprowadzenia w ruch czynnika chłodzącego

- N - chłodzenie naturalne
- F - chłodzenie wymuszone przez sztuczne wprowadzenie w ruch czynnika chłodzącego

- AN - transformator suchy bez lub z obudową przewietrzaną i z naturalnym chłodzeniem powietrzem
- ANAN - transformator suchy w obudowie z naturalnym chłodzeniem powietrzem wewnątrz i na zewnątrz obudowy
- WF - transformator suchy bez lub z obudową, chłodzony wodą o wymuszonym obiegu

Elementy indukcyjne i transformatory chłodzone wodą

Chłodzenie wodne dławików lub transformatorów poprawia intensywność i skuteczność odprowadzenia strat. System wodnego bezpośredniego chłodzenia, łączy obwód elektryczny i obwód chłodzenia. Uzwojenie nawinięte jest rurą, która przewodzi jednocześnie prąd i czynnik chłodzący. Chłodzenie pośrednie realizowane jest przy pomocy izolowanych elektrycznie paneli chłodzących lub izolowanej chłodnicy rurowej.



Ważne Parametry techniczne:

Napięcie znamionowe	max. 3kV
Napięcie próby	do 10kV
Przepływ czynnika chłodzącego	~4l/min
Spadek ciśnienia na chłodnicy	~1 bar
Temperatura czynnika chłodzącego	~30°C
Prąd znamionowy	wg specyfikacji
Prąd liniowości magnetycznej	wg specyfikacji
Indukcyjność znamionowa	wg specyfikacji
Klasa temperaturowa	T40F/H



Filtry sinusoidalne SinECO™ i harmonicznych ThdECO™ dla układów napędowych

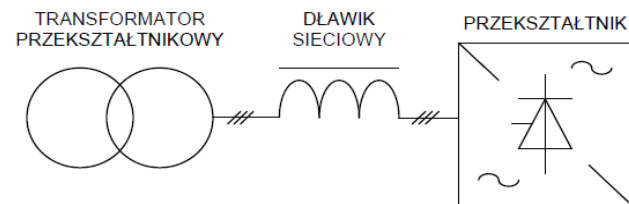
Falowniki zasilające układy napędowe stanowią źródło zakłóceń dla obwodu sterowanego oraz sieci zasilającej. Zastosowanie filtrów pozwala uniknąć uszkodzeń silników i ograniczyć oddziaływanie przekształtnika na sieć. Filtry sinusoidalne przeznaczone są do pracy na wyjściu falownika, przywracają sinusoidalny kształt napięcia – THDu<5%. Filtry harmonicznych pracują przed falownikiem od strony sieci, eliminując harmoniczne prądu pobieranego z sieci – THDi <5%.

Ważne parametry techniczne:

Napięcie znamionowe	max. 1kV
Napięcie próby	do 10kV
Indukcyjność znamionowa	wg specyfikacji
Prąd znamionowy	wg specyfikacji
Częstotliwość	50Hz
Częstotliwość kluczenia	min. 4kHz
Klasa temperaturowa	T40F/H
Rodzaj chłodzenia	AN / AF / WF
Współczynnik THDu	< 5%
Współczynnik THDi	< 5%



Odziaływanie przemienników częstotliwości na sieć zasilającą



Rys. 1. Schemat typowego układu przekształtnikowego.

Względna impedancja takiego układu wynosi:

$$Z[\%] \cong \frac{I_N \times (X_{TR} + X_D) \times \sqrt{3}}{U_N} \times 100 \quad (1)$$

Tabela 2. Zniekształcenia harmoniczne prądu na wejściu układu 6-pulsowego w zależności od efektywnej impedancji zwarcia obwodu (wartości wyznaczone w środowisku SIMULINK)

Numer harmonicznej	Procentowa wartość efektywnej impedancji						
	0,5%	1%	1,5%	2%	3%	4%	5%
5h	78%	60%	51%	46%	39%	35%	32%
7h	58%	36%	28%	23%	17,5%	14,5%	12,5%
11h	18%	13%	11%	9%	7,5%	6,5%	6%
13h	10%	8%	6,5%	6%	5%	4,3%	4%
17h	7,5%	5%	4%	3,6%	3%	2,5%	2,3%
19h	6%	4%	3,3%	3%	2,3%	2%	1,8%
23h	5%	3%	2,6%	2%	1,5%	1,3%	1,1%
25h	2,3%	2%	1,6%	1,3%	1,1%	1%	0,9%
THDi	100%	72%	60%	55%	44%	39%	35%

Odziaływanie przemienników częstotliwości na sieć zasilającą



- Współczynnik strat dodatkowych od wzrostu wartości skutecznej prądu:

$$F_i^2 = \sum_1^h \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2 = \left(\frac{I_{N_{RMS}}}{I_1}\right)^2 \quad (2)$$

- Współczynnik strat wiroprowodowych w uzwojeniach (K-faktor):

$$F_w = \sum_1^h \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2 \times h^2 \quad (3)$$

- Współczynnik strat wiroprowodowych w połączeniach i częściach konstrukcyjnych :

$$F_p = F_k = \sum_1^h \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2 \times h^{0,8} \quad (4)$$

- zawartość wyższych harmoniczných w prądzie
- zwiększone straty transformatorów i dławików
- wpływ na odkształcenie przebiegu napięcia

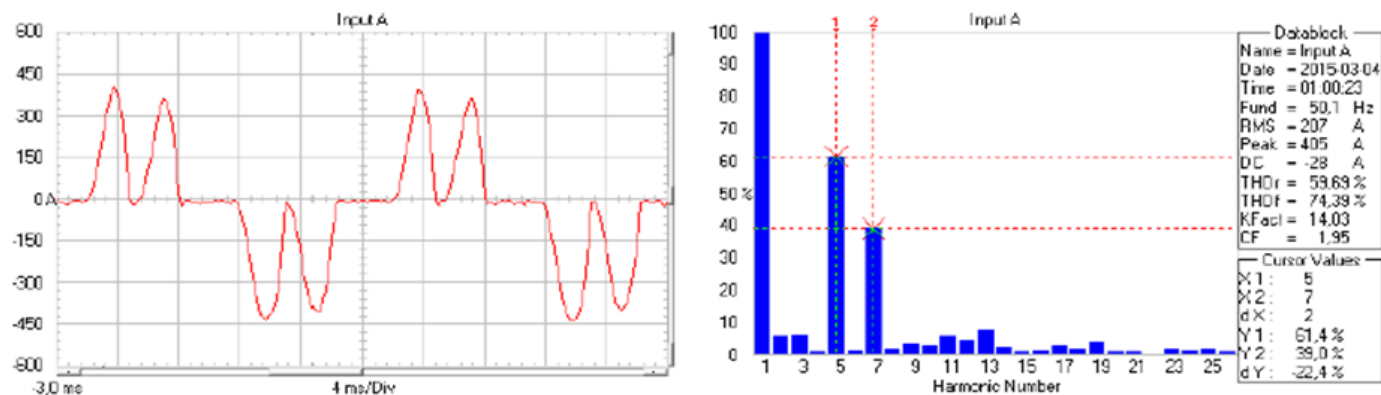
Tabela 3. Wpływ odkształcenia prądu na straty dodatkowe w elementach magnetycznych

Obwód wejściowy	Impedancja 1%	Impedancja 5%	Filtr HF
THDi	72%	35%	5%
F_i^2	1,51	1,12	1,01
F_w	21,5	5,42	1,42
$F_p = F_k$	3,14	1,49	1,03

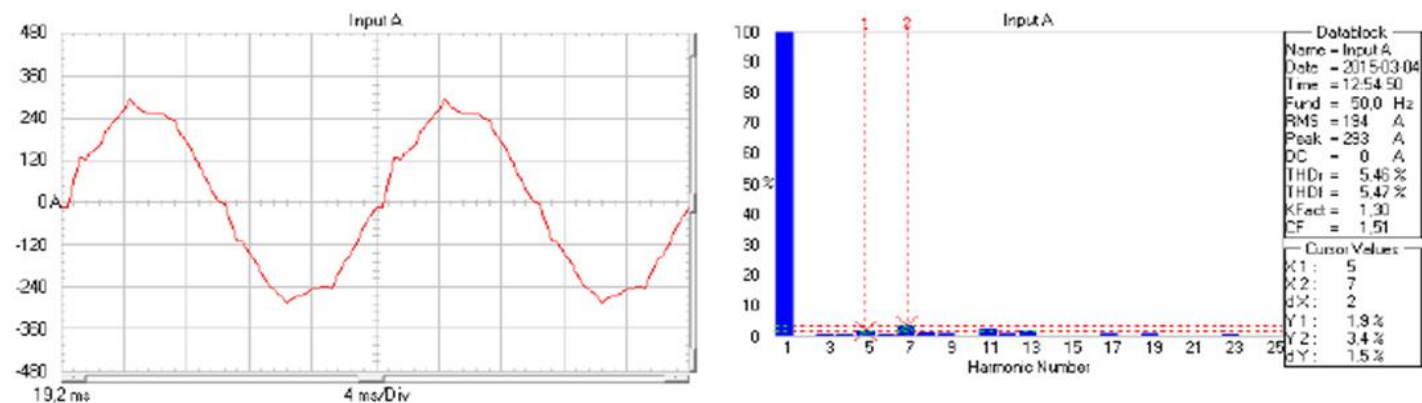
Odziaływanie przemienników częstotliwości na sieć zasilającą

Filtry harmonicznych :

- ograniczają THDi prądu pobieranego z sieci (~ 5%)
- poprawiają sprawność napędu, (łącznie ze stratami w transformatorze SN)
- stanowią ekonomiczną alternatywę dla układów wielopulsowych
- pozwalają uzyskać kompatybilność napędu zgodną ze standardami IEEE 519-1992 i PN-EN 61000-3-12



Rys. 8.a. Oscylogramy prądu wejściowego przekształtnika przy 1% efektywnej impedancji

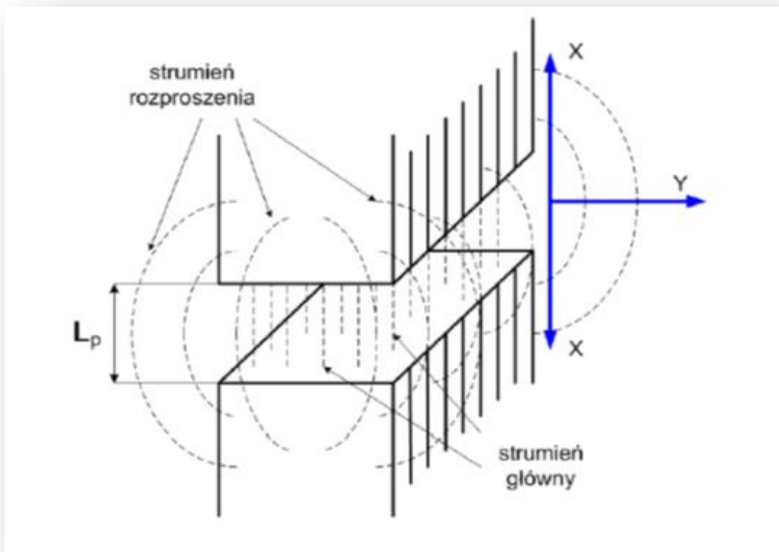


Rys. 8.c. Oscylogramy prądu wejściowego przekształtnika z filtrem harmonicznych

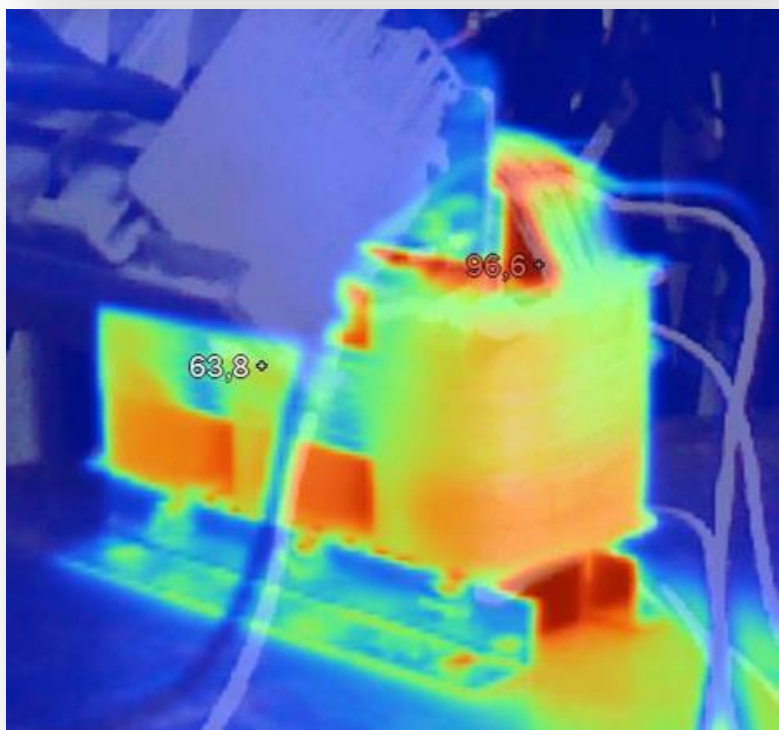
Parametry użytkowe dławika w filtrze sinusoidalnym
Które parametry definiują dławik ?

- straty w rdzeniu i uzwojeniu – sprawność
- przyrosty temperatury jakie uzyskuje dławik podczas pracy
- indukcyjność znamionowa – liniowość charakterystyki
- drgania magnetostrykcyjne – pole akustyczne wokół dławika
- masa i wymiary gabarytowe dławika

Dyspersja indukcji magnetycznej w szczelinach rdzeni

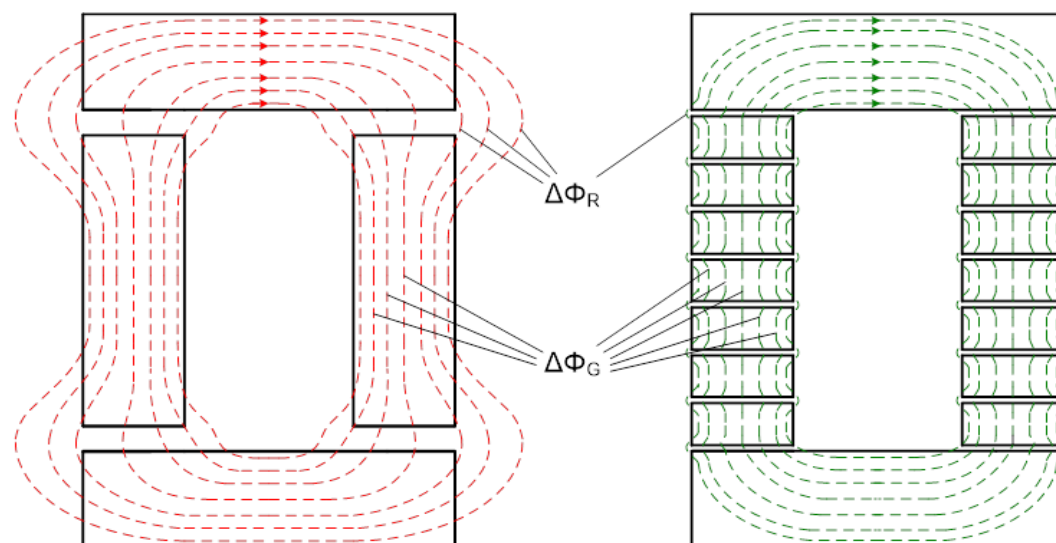


- zwiększone straty w materiale rdzenia
- zwiększone straty w uzwojeniach
- zwiększone straty w elementach konstrukcyjnych
- niepewność wartości indukcyjności
- silne pole elektromagnetyczne wokół dławika
- silne drgania magnetostrykcyjne



a) rdzeń standardowy

b) rdzeń wieloszczelinowy



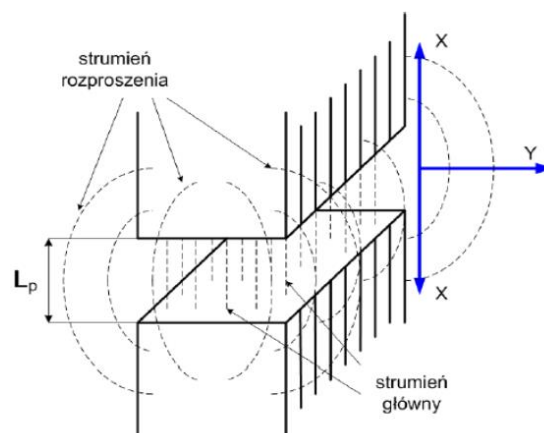
Technologia rdzeni wieloszczelinowych CoreECO™

- ❑ ogranicza niekorzystne oddziaływanie strumienia rozproszenia
- ❑ pozwala uzyskać równomierny rozkład indukcji w rdzeniu
- ❑ zwiększa liniowość magnetyczną dławika
- ❑ ogranicza pole akustyczne dławika
- ❑ ogranicza zewnętrzne pole elektromagnetyczne wokół dławika
- ❑ ogranicza straty w materiale rdzenia, uzwojeniu i elementach konstrukcyjnych dławika



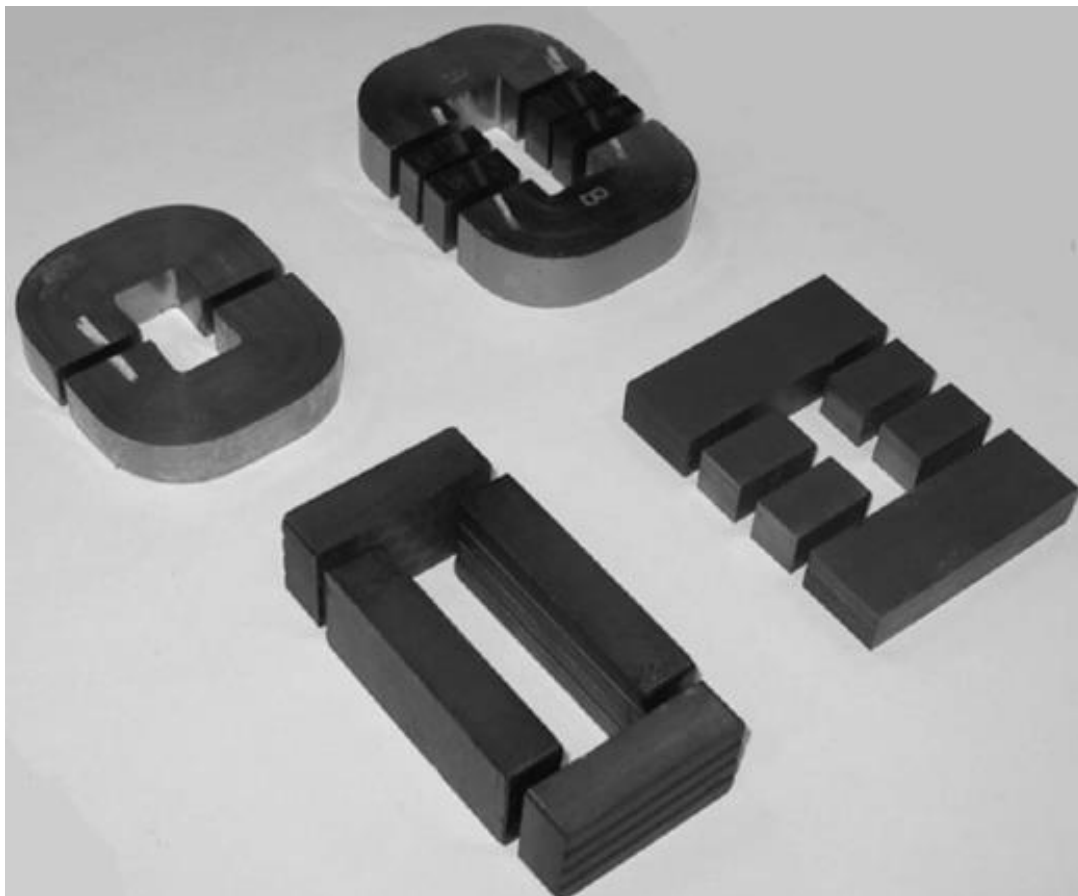
Tabela 2. Symulacyjne wyniki strat jałowych dla filtru sinusoidalnego typu FluxSIN-45/85, częstotliwość kluczenia 4kHz.

Ilość szczelin	Szerokość szczeliny	Straty w rdzeniu	ΔT rdzenia
2	3,40 mm	910 W	211 K
3	2,26 mm	267 W	103 K
4	1,70 mm	168 W	83 K
5	1,36 mm	147 W	77 K
6	1,14 mm	123 W	72 K
8	0,85 mm	57 W	55 K

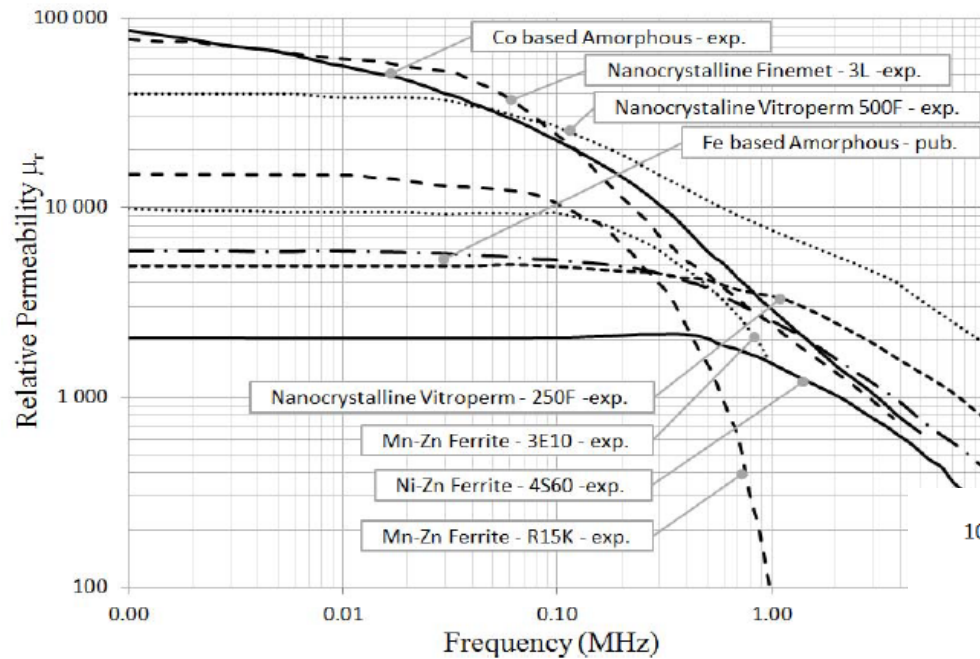


Rys. 4. Strumień główny i rozproszenia w obszarze przyszczelinowym

Straty w obszarze przy-szczelinowym rdzenia dławika

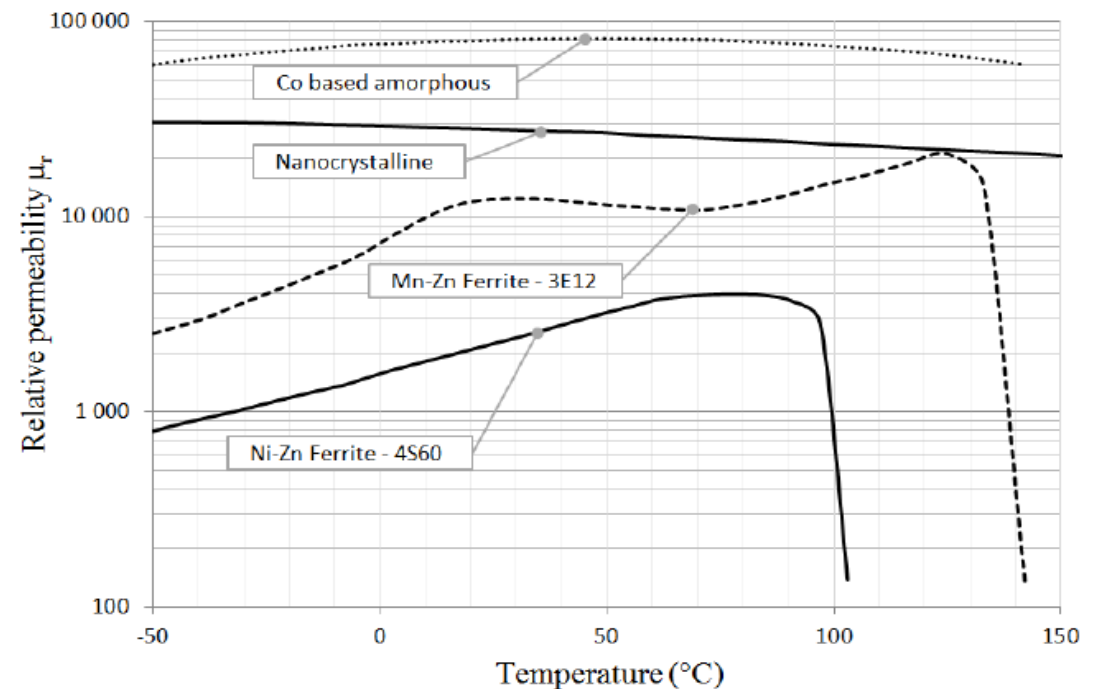


Dławiki indukcyjne w energoelektronice



Dobór materiału magnetycznego rdzenia

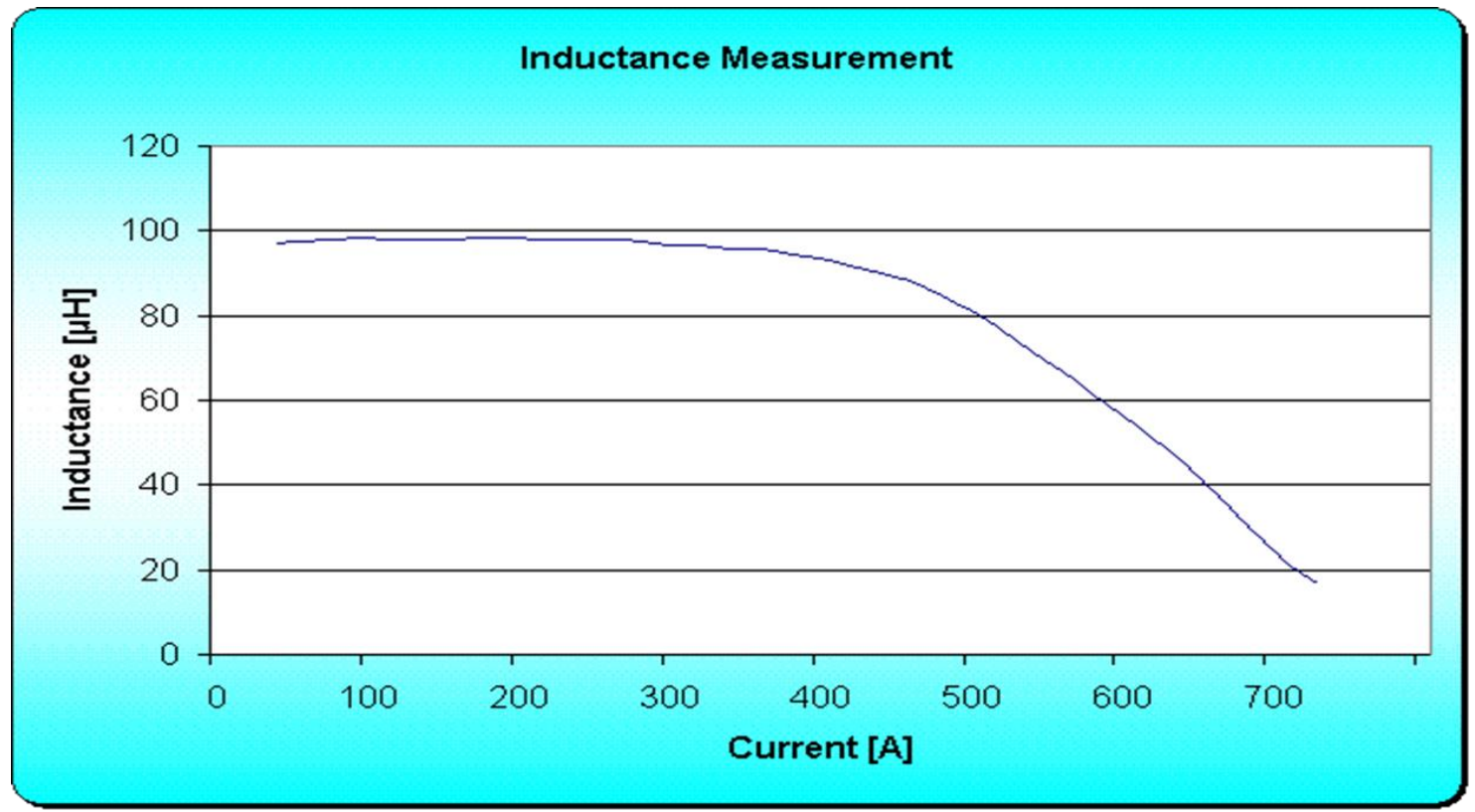
- częstotliwościowa zmienność przenikalności względnej materiału
- temperaturowa zmienność przenikalności względnej materiału



Liniowość charakterystyki indukcyjności

Liniowość magnetyczna

- definiuje stabilność charakterystyki indukcyjności podczas przeciążeń dławika $I_{lin} = A \times I_n$ (0,9-0,95% I_n)
- jest bardzo ważnym parametrem z punktu widzenia dławików pracujących w filtrach zestrojonych na konkretną częstotliwość rezonansową



Pole akustyczne wokół dławika

Siła magnetyczna

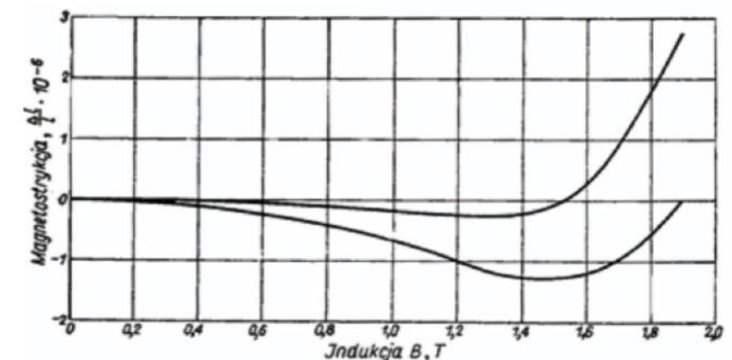
- działająca pod wpływem indukcji magnetycznej pomiędzy izolowanymi elementami (blachy) rdzenia ferromagnetycznego podczas pracy dławika
- siły te zmieniają się z częstotliwością dwukrotnie większą od częstotliwości zmian indukcji
- siły magnetyczne są niewielkie, eliminowane przez konstrukcję mocująca dławika

Siła magnetostrykcyjna

- magnetostrykcja przejawia się zmianą wymiarów blach rdzenia podczas przemagnesowywania i jest bezpośrednim przejawem występowania wewnętrznych sił magnetycznych
- współczynnik magnetostrykcji jest funkcją indukcji występującej w materiale i zmienia się okresowo ze zmianami indukcji
- współczynnik magnetostrykcji zależy od składu chemicznego materiału, oraz od naprężeń występujących w materiale rdzenia
- siły magnetostrykcyjne są zwykle kilkanaście razy większe od sił magnetycznych w rdzeniu, dlatego magnetostrykcja uważana jest za główną przyczynę hałasu w dławikach.



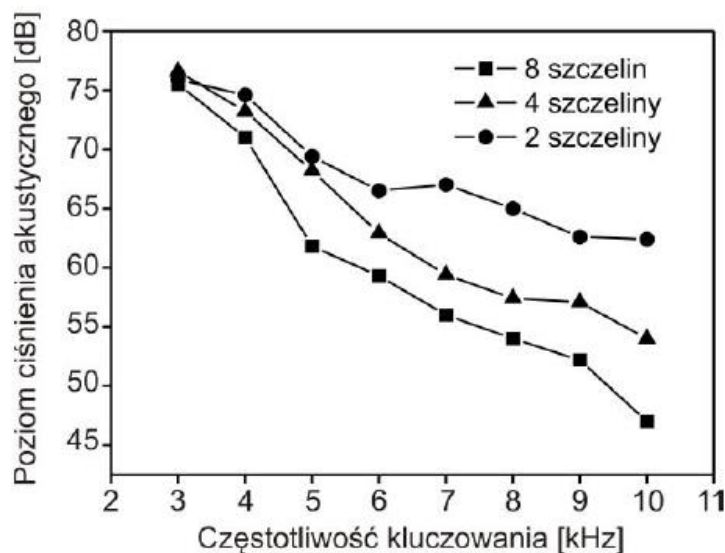
Rys. 1 Wieloszczelinowy rdzeń dławika filtru



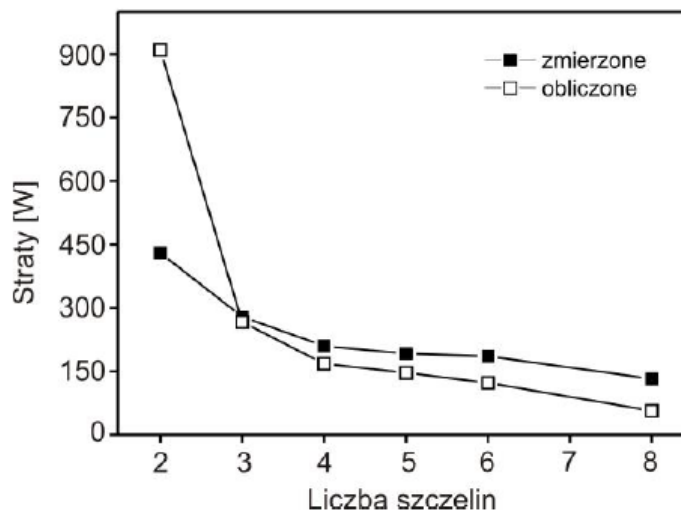
Rys. 2. Przebieg zmian współczynnika magnetostrykcji dla blachy transformatorowej [3]

Rdzenie wieloszczelinowe CoreECO™

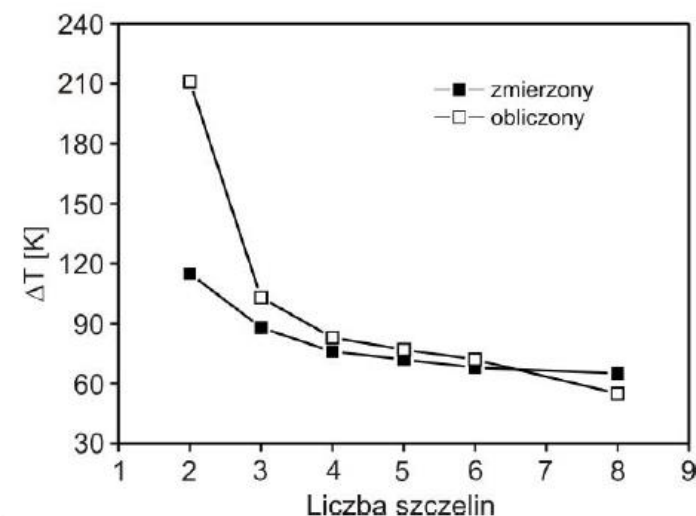
Badanie strat i hałasu wokół dławika w zależności od ilości i szerokości szczelin powietrznych w rdzeniu.



Rys. 4 Poziom ciśnienia akustycznego dla 2, 4 i 8 szczelin w rdzeniu, częstotliwość kluczowania w zakresie 4-10 kHz



Rys. 2 Obliczeniowe i pomiarowe straty w rdzeniu dla różnej szerokości i ilości szczelin w rdzeniu, częstotliwość kluczowania 4kHz



Rys. 3 Przyrost temperatury rdzenia dla różnej szerokości i ilości szczelin w rdzeniu, częstotliwość kluczowania 4kHz



trafeco

Transformers & Inductive Components

- » TRANSFORMATORY
- » DŁAWIKI
- » FILTRY SINUS SinECO™
- » FILTRY WYŻSZYCH HARMONICZNYCH ThdECO™
- » URZĄDZENIA SPECJALNE

e-mail: info@trafeco.pl

www.trafeco.pl



ENERGETAB 2017
stoisko **41** pawilon **W**