

# Transformatory w impulsowych zasilaczach mocy

Mirosław Łukiewski

Pojawienie się tranzystora w latach 50. ubiegłego stulecia zapoczątkowało szybki rozwój energoelektronicznych urządzeń. Tradycyjne zasilacze zastępowano zasilaczami impulsowymi o większej sprawności i zdecydowanie mniejszych rozmiarach. Obecnie nowoczesne elementy półprzewodnikowe umożliwiają rozwój przekształtników pracujących przy coraz wyższych częstotliwościach, a wciąż udoskonalane materiały magnetyczne pozwalają projektować optymalne transformatory i elementy indukcyjne.

**E**LHAND TRANSFORMATORY jest producentem transformatorów i dławików przeznaczonych do pracy w wyższych częstotliwościach.

## Zasilacz impulsowy typu *push-pull*

Rysunek 1 przedstawia schemat zasilacza prądu stałego z przetwarzaniem. Pierwotne napięcie zasilające podawane jest na tranzystorowy mostek przerywacza. Pary tranzystorów kluczowane naprzemiennie, najczęściej ze znaczną częstotliwością, zasilają transformator napięciem o przebiegu prostokątnym. Poprzez zmianę długości czasu załączenia tranzystorów steruje się wartością sygnału podawanego na transformator.

Transformator jest elementem przetwarzającym i dopasowującym poziom napięcia, które następnie jest prostowane. Na wyjściu diodowego mostka umieszczony jest indukcyjny lub indukcyjno-pojemnościowy filtr, który zapew-

Tabela 1. Parametry elektryczne stopu nanokrystalicznego VITROPERM 500F [2]

Własności materiału	Stop nanokrystaliczny VITROPERM 500F
Grubość taśmy	~ 25 $\mu\text{m}$
Indukcja nasycenia	1,2 T
Koercja (statyczna)	< 3 A/m
Przenikalność	10 000–150 000
Straty w rdzeniu	$P_{fe} = 80$ [W/kg] $f = 100$ kHz, $B = 0,3\text{T}$
Rezystywność	115 $\mu\Omega$ cm
Magnetostrykcja nasycenia	$10^{-8} - 10^{-6}$
Temperatura Curie	600°C
Dopuszczalna temperatura	
Praca ciągła	120–150°C
Krótkotrwałe przeciążenie	180°C

nia wygładzenie przebiegu wyjściowego. Konwertery typu *push-pull* projektowane są do zasilania odbiorników dużych mocy [1].

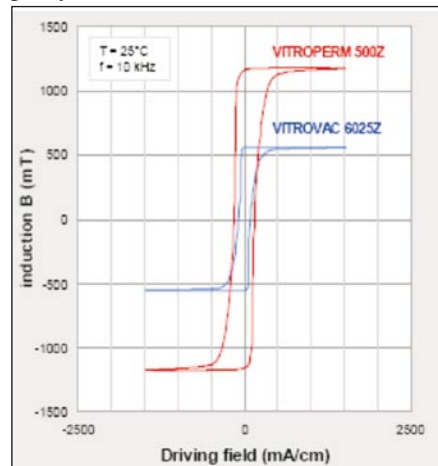
## Transformator z rdzeniem nanokrystalicznym

Transformatory pracujące w obwodach impulsowych narażone są na oddziaływanie czynników wywołujących straty dodatkowe. Uzwojenia transformatorów należy projektować, przewidując występowanie efektu naskórkowości, czyli wzrostu rezystancji uzwojenia dla prądów o wyższej częstotliwości, co w konsekwencji powoduje większe straty. W rdzeniu transformatora decydujący udział mają straty histerezowe oraz wiroprowodowe. W celu ich ograniczenia do budowy rdzeni stosuje się nowoczesne niskostratne magnetyki. VITROPERM 500F jest materiałem nanokrystalicznym otrzymanym poprzez kontrolowaną ob-

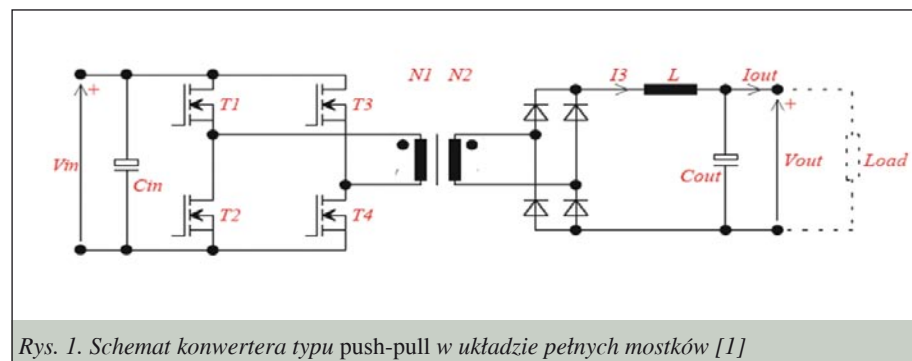


Rys. 2. Rdzenie toroidalne wykonane ze stopu nanokrystalicznego VITOPREM 500F

róbkę termiczną stopu amorficznego na bazie żelaza. Stop VITROPERM 500F charakteryzuje się wąską pętlą histerezy magnetycznej (rys. 3) oraz dużą rezystywnością, która skutecznie ogranicza prądy wirowe [2].



Rys. 3. Przebieg pętli histerezy magnetycznej dla stopu nanokrystalicznego VITROPERM 500F oraz amorficznego VITROVAC 6025Z [2]



Rys. 1. Schemat konwertera typu *push-pull* w układzie pełnych mostków [1]

Znając odpowiednią konfigurację układu konwertera (np. *full bridge*) i optymalną częstotliwość pracy układu, możemy dobrać materiał magnetyczny, z którego zbudujemy rdzeń transformatora. Materiał nanokrystaliczny na bazie żelaza VITROPERM 500F jest magnetykiem stworzonym z myślą o zastosowaniach energoelektronicznych. Producent rdzeni transformatorowych podaje optymalne, preferowane dla tego materiału,

Tabela 2. Preferowane parametry pracy rdzeni ze stopu VITROPERM 500F oraz wartości współczynników obliczeniowych [3]

Preferowane wartości parametrów pracy i współczynniki obliczeniowe	Stop nanokrystaliczny VITROPREM 500F
Częstotliwość – $f_o$	100 kHz
Indukcja zmiennosc – $\Delta B_{opt}$	0,6 T
Współczynnik kształtu – $F_o$	1,11 (sinus)
Straty w rdzeniu – $P_o$ dla $F_o, \Delta B_{opt}, f_o$	110 W/kg
Współczynnik X	1,6
Współczynnik Y	1,8
Współczynnik Z	2,08

wartości częstotliwości, gęstości strumienia magnetycznego oraz współczynnika kształtu napięcia zasilającego transformator (tab. 2).

Kolejnym etapem ważnym dla prawidłowej pracy transformatora jest wyznaczenie optymalnej indukcji w rdzeniu  $\Delta B_{opt}$  oraz optymalnej gęstości prądu w uzwojeniach  $S_{opt}$ . Wielkości te określa się dla wybranego rdzenia, gdy można już określić masę  $m_{fe}$ , rezystancję termiczną  $R_{th}$  i starty mocy  $P_o$  wyznaczone przy preferowanych warunkach pracy. Na tym etapie robimy również założenia co do częstotliwości i kształtu napięcia zasilającego –  $f, F$ .

$$\Delta B_{opt} = \Delta B_o \cdot \left( \frac{2 \cdot \Delta T}{(2+Z) \cdot R_{th} \cdot m_{fe} \cdot P_o \cdot \left(\frac{F}{F_o}\right)^x \cdot \left(\frac{f}{f_o}\right)^y} \right)^{\frac{1}{Z}}$$

Projektując uzwojenia, należy wstępnie do obliczeń założyć wartość prądu  $I_{cu}$  oraz rezystywność  $\rho_{cu}$  materiału, z którego zostanie ono wykonane. Ważne jest również pole przekroju uzwojenia  $A_{cu}$  dobrane tak, by przy optymalnej gęstości prądu przyrost temperatury uzwojeń nie przekroczył dopuszczalnej wartości  $\Delta T$  [3].

$$S_{opt} = \sqrt{\frac{(Z+\Delta T)}{(Z+2) \cdot R_{th} \cdot \rho_{cu} \cdot I_{cu} \cdot A_{cu}}}$$

Znając wartości optymalnej indukcji w rdzeniu i gęstości prądu w uzwojeniach, można określić wartość mocy transformowanej  $P_{max}$  przy częstotliwości  $f$  napięcia zasilającego. Współczynnik mocy  $k$  jest zależny od rodzaju konwertera, dla typu *push-pull* w układzie pełnych mostków, maksymalnej pulsacji  $\tau_{max}$  napięcia zasilania  $U_E$  wynosi:

$$k = 1 / \sqrt{2 \cdot \tau_m}$$

$$\tau_m = 0,5 \cdot \tau_{max} \cdot \left( 1 + U_{E,min} / U_{E,max} \right)$$

$$P_{max} = k \cdot f \cdot A_{fe} \cdot A_{cu} \cdot \Delta B_{opt} \cdot S_{opt}$$

Ilość zwojów uzwojenia pierwotnego  $N_p$  dobieramy tak, by napięcie zasilające  $U_E$  wywoływało indukcję magnetyczną w rdzeniu nie większą niż wartość indukcji optymalnej  $\Delta B_{opt}$ . Zwoje wtórne  $N_s$  wyznacza się w powiązaniu z wartością wyjściowego napięcia stałego  $U_A$  [3].

$$N_p = (\tau_{max} \cdot U_{E,min}) / (f \cdot A_{fe} \cdot \Delta B_{opt})$$

$$N_s = (U_A \cdot N_p) / (\tau_{max} \cdot U_{E,min})$$

Po wyznaczeniu parametrów uzwojeń należy wykonać obliczenia kontrolne, sprawdzając, czy uzwojenia mieszczą się w oknie rdzenia, biorąc pod uwagę również ewentualne materiały izolacyjne.

#### Literatura

- [1] <http://schmidt-walter.fbe.fh-darmstadt.de>, Dr Ing. Heinz Schmidt-Walter, *Switched Mode Power Supplies – the lecture*.
- [2] [www.vacuumschmelze.de](http://www.vacuumschmelze.de), *Nanocrystalline VITROPERM/EMC components – 2004*.
- [3] [www.vacuumschmelze.de](http://www.vacuumschmelze.de), *Tape-wound cores in power transformers for switched mode power supplies – 2003*.



nawijając trzeba umieć