

Bogusław GRZESIK  
Grzegorz OMBACH

## WPLYW CZĘSTOTLIWOŚCI NA MOC TRANSFORMATORA POWIETRZNEGO WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI

**Streszczenie.** Praca poświęcona jest wpływowi częstotliwości na moc wyjściową transformatora powietrznego o danej konstrukcji. Wpływ ten opisany jest za pomocą odpowiednich charakterystyk będących funkcją obciążenia, gdzie parametrem jest częstotliwość z zakresu 100 kHz do 5 MHz. Transformator przeznaczony jest do systemów nagrzewania indukcyjnego, jako transformator dopasowujący obciążenie do źródła zasilania. Obciążeniem w tym systemie jest wzbudnik z nagrzewanym wsadem, źródłem zasilającym jest falownik rezonansowy. Obliczenia przeprowadzono za pomocą modułu elektromagnetycznego EMAG programu ANSYS®.5.4. Zasadnicze wyniki pracy to charakterystyki przedstawiające zmienność parametrów transformatora, takich jak sprawność, straty w uzwojeniach oraz moc wyjściowa transformatora w funkcji rezystancji i/lub prądu, obciążenia, napięcia zasilającego oraz częstotliwości. Głównym rezultatem pracy jest zależność mocy analizowanej konstrukcji od częstotliwości (np., ok. 4 kW przy 500 kHz i sprawności 96%).

## THE FREQUENCY INFLUENCE ON OUTPUT POWER OF THE CORELESS TRANSFORMER

**Summary.** The paper deals with frequency influence on the output power of the coreless transformer of the given construction, that operates at high frequency range from 100kHz to 5MHz. The transformer is designed for induction heating systems. The excitation inductor together with heated charge is the load of the transformer that is supplied from power electronic inverter. The analysis was carried out by means of 2D FEM method aided with EMAG ANSYS 5.4® software. The main results of this analysis are characteristics of the transformer, such as the efficiency, the winding losses and the output power. They are presented as a function of load resistance/current, input voltage and operation frequency.

### 1. WSTĘP

Wymagania stawiane przed współczesnymi urządzeniami energoelektronicznymi to wysoka sprawność i małe gabaryty. Osiągnięcie tych założeń jest możliwe poprzez wzrost częstotliwości pracy układów energoelektronicznych. Niezbędne są do tego odpowiednie komponenty, które mogą pracować poprawnie przy wysokich częstotliwościach. Jednym z takich komponentów jest transformator powietrzny wysokiej częstotliwości.

Artykuł jest poświęcony analizie wpływu częstotliwości na moc wyjściową transformatora powietrznego o określonej konstrukcji. Praca stanowi wycinek badań o szerszym zakresie, które mają na celu systematyczne przebadanie kilku wybranych konstrukcji transformatorów powietrznych ze względu na przydatność do energoelektroniki w zakresie kilkuset kHz do kilku MHz. W ramach tych badań przewidziana jest analiza porównawcza właściwości transformatora powietrznego z transformatorem z magnetowodem ferromagnetycznym oraz ocena stopnia dokładności przybliżonych metod analizy transformatora powietrznego [10].

### 1.1. Stan dotychczasowy tematyki

W ostatniej dekadzie technologia konstrukcji transformatorów wysokiej częstotliwości rozwijana była niezwykle dynamicznie. Wynikało to z zapotrzebowania, a było możliwe, ponieważ opracowano wiele nowych materiałów magnetycznych o bardzo korzystnych właściwościach (nowe rodzaje ferrytów, materiały amorficzne oraz materiały nanokrystaliczne). Powstało wiele konstrukcji takich, jak planarna, koaksjalna, stosowa, sandwich/matrix i rozłożona [1, 4, 11, 12].

W transformatorach tych stosowane są wszystkie możliwe rodzaje rozwiązań uzwojeń, w których wykorzystywane są standardowy przewód nawojowy, taśma, lica, a nawet obwody drukowane. Uzwojenia kształtuje się na wiele sposobów, np. jako klasyczne warstwowe i sekcjonowane, stosowe oraz przewlekane.

W literaturze dosyć mało uwagi poświęcono transformatorom powietrznym wysokiej częstotliwości. W pozycjach literatury można znaleźć informacje dotyczące transformatorów powietrznych: [9, 10, 5, 6]. Informacje te, chociaż umożliwiają przybliżoną analizę transformatorów powietrznych, nie wystarczają do przeprowadzenia analizy takiej, jaką przeprowadza się w ramach niniejszej pracy.

### 1.2. Motywacja

Następujące argumenty stanowią motywację do podjęcia badań nad transformatorem powietrznym pracującym przy wysokiej częstotliwości:

- 1) transformator powietrzny może okazać się przydatny do energoelektroniki,
- 2) tematowi transformatorów wysokiej częstotliwości nie poświęcono dotychczas zbyt wiele uwagi.

Z powyższego wynika, że istnieje pilna potrzeba przebadania tej klasy transformatorów tak, aby można było w przyszłości porównać ich właściwości z właściwościami transformatorów ferromagnetycznych.

Z analizy literatury tematu wynika, że chociaż można znaleźć informacje umożliwiające zaprojektowanie transformatora powietrznego, np. praca [10], to nie są one wystarczające do prowadzenia badań w takim zakresie, jaki założono w niniejszej pracy. Niezbędne są badania oparte na analizie pola magnetycznego.

### 1.3. Cel pracy

Celem pracy jest określenie wpływu częstotliwości na maksymalną moc wyjściową danej konstrukcji transformatora oraz wpływu częstotliwości na jego sprawność.

#### 1.4. Założenia

Transformator jest przeznaczony do systemu energoelektronicznego pracującego przy prądach sinusoidalnych i przy częstotliwości 100 kHz do 5 MHz. W analizie nie uwzględnia się zagadnienia pojemności transformatora.

#### 1.5. Metodyka

Narzędziem analizy jest metoda elementów skończonych, MES, [3] realizowana za pomocą programu ANSYS 5.4® [2]. Do obliczeń wykorzystuje się model osiowo symetryczny.

Analiza prowadzona jest tak, aby właściwości transformatora zostały przedstawione przy zmiennym obciążeniu oraz przy zmiennej częstotliwości.

#### 1.6. Wyniki

Uzyskane wyniki to:

- sprawność transformatora jako funkcja rezystancji obciążenia oraz częstotliwości (100 kHz do 5 MHz), moc strat w funkcji napięcia wejściowego,
- moc strat w funkcji prądu obciążenia oraz
- moc wejściowa oraz wyjściowa transformatora w funkcji prądu obciążenia.

Górna granica częstotliwości (5 MHz) jest wyznaczona przez górną granicę częstotliwości przekształtników energoelektronicznych.

## 2. ZAŁOŻENIA SZCZEGÓŁOWE

Analizuje się transformator o konstrukcji takiej, jak pokazano na rys. 1.

Założenia odnoszące się do konstrukcji transformatora:

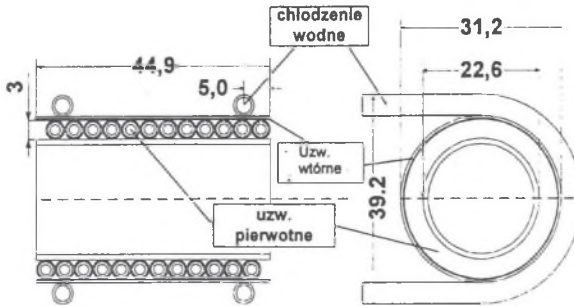
- 1) uzwojenie pierwotne:
  - rurka miedziana o średnicy zewnętrznej 3 mm i ściance 0.5 mm,
  - liczba zwojów 12,
  - średnica cewki uzwojenia - 22.6 mm,
  - chłodzenie wodne.
- 2) uzwojenie wtórne:
  - taśma miedziana o grubości 1 mm,
  - liczba zwojów: 1,
  - średnica cewki uzwojenia 31.2 mm,
  - chłodzenie wodne.
- 3) przekładnia zwojowa transformatora równa 12.
- 4) temperatura uzwojeń 80°C.

Założenia dotyczące pomiarów transformatora:

- 1) częstotliwość 100 kHz do 5 MHz,
- 2) napięcie zasilające stronę pierwotną transformatora  
 $U_{I,max}=20$  V do 2000 V,
- 3) maksymalne straty w uzwojeniach  $P_{str}=200$  W,
- 4) obciążenie transformatora zmienne  $R_o=var$  (od  $\infty$  do 0  $\Omega$ ),

Założenia dotyczące modelu polowego transformatora:

- analiza obejmuje stan ustalony, zarówno pod względem elektromagnetycznym, jak i termicznym ( $\gamma = \text{const}$ ,  $T = \text{const}$ ),
- geometria modeli wykazuje symetrię osiową,
- pominięto efekty wynikające z pojemności występujących w rzeczywistych obiektach.



Rys.1. Konstrukcja transformatora - przekrój poprzeczny

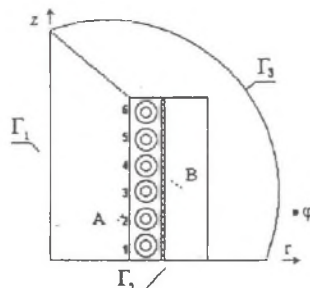
Fig.1. Cross-section of the coreless transformer

### 3. MODEL TRANSFORMATORA - ANSYS®

Polowy model numeryczny analizowanego transformatora został wykonany przy użyciu modułu elektromagnetycznego EMAG programu ANSYS® 2D [2]. Drugie założenie dotyczące modelu polowego transformatora, o symetrii osiowej daje w wyniku model przybliżony, ponieważ transformator rzeczywisty nie jest symetryczny osiowo.

Model obliczeniowy transformatora zamieszczono na rys. 2. Obejmuje on jedną ćwiartkę osiowego przekroju poprzecznego transformatora ograniczoną przestrzenią wypełnioną powietrzem.

Przeprowadzone obliczenia oraz uzyskane na ich podstawie charakterystyki pozwalają określić właściwości transformatora. Obliczenia wykonywano przy zmieniającej się rezystancji obciążenia od wartości około  $1E-7 \Omega$  do  $1E5 \Omega$  przy częstotliwości 100 kHz do 5 MHz i zmiennym napięciu wejściowym  $U_{1max}=20$  V do 2000 V.



Rys.2. Model obliczeniowy transformatora powietrznego (1/4), gdzie  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_3$  warunki brzegowe (tabela 1)

Fig. 2. Coreless transformer- FEM 2D geometry (1/4), where:  $\Gamma_1$ ,  $\Gamma_2$ ,  $\Gamma_3$  boundary conditions (table 1)

Pszczególne obszary, w zależności od ich rodzaju (uzwojenia pierwotne (A) oraz wtórne (B), powietrze), opisane są [8, [9] następującym ogólnym równaniem różniczkowo-całkowym cząstkowym (1):

$$\nabla^2 \underline{A}(r, z) - j\omega\mu_r\mu_0\gamma \underline{A}(r, z) + \frac{j\omega\mu_0\gamma}{S_{\Omega k}} \int_{\Omega k} \underline{A}(r, z) d\Omega = \frac{-I_k}{S_{\Omega k}} \quad (1)$$

gdzie:

- $\underline{A}$  -amplituda zespolonego potencjału wektorowego (składową w kierunku  $\varphi$ ),
- $\omega$  -częstość kątowna prądu ( $\omega=2\pi f$ ),
- $\mu_0, \gamma$  -parametry materiałowe obszaru
- $S_{\Omega k}$  -pole powierzchni obszaru opisanego powyższym równaniem,
- $I_k$  -prąd wymuszony w tym obszarze (dotyczy uzwojenia pierwotnego).

Warunki brzegowe, zdefiniowanie których jest konieczne dla rozwiązania problemu, przedstawia tabela 1.

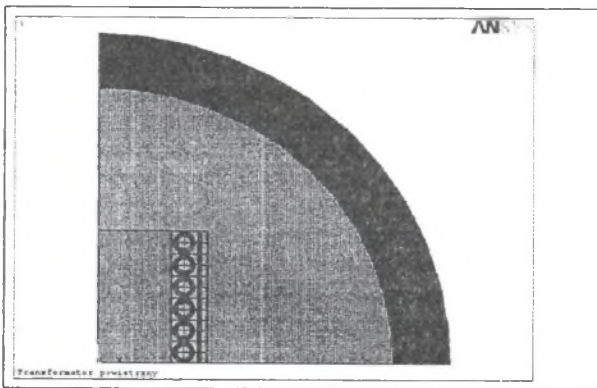
Tabela 1

Warunki brzegowe

Brzeg analizowanego obszaru (rys.2)		
$\Gamma_1$	$\Gamma_2$	$\Gamma_3$
$r \underline{A}(r, z) = 0$ - warunek Dirichleta	$\frac{\partial}{\partial z} (r \underline{A}(r, z)) = 0$ - warunek Neumanna	element nieskończony INFIN 110

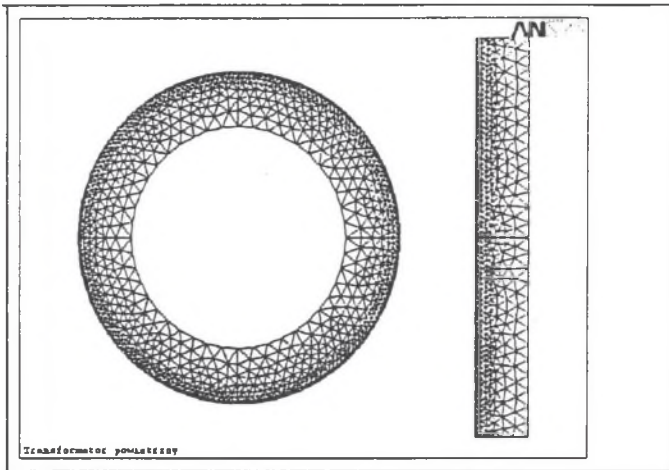
Najbardziej istotnym czynnikiem, który uwzględniono przy budowie modelu, jest głębokość wnikania pola  $\delta$  do obszaru przewodnika, np. przy częstotliwości  $f=1$  MHz wynosi dla miedzi  $\delta \approx 0.06$  mm. Taka mała wartość głębokości wnikania wymusza dużą dyskretyzację siatki w obszarach przy powierzchniowych przewodnikach. Pokazano to na rys.4. Geometrię modelu transformatora zrealizowaną w programie ANSYS 5.4®, uwzględniającą przedstawione uprzednio czynniki, zamieszczono na rys. 3.

Do przeprowadzenia obliczeń niezbędne było użycie symulatora obwodowego, który jest wbudowany w programie ANSYS. Za pomocą tego symulatora zrealizowano źródło zasilające napięcia sinusoidalnego oraz rezystancję obciążenia.



Rys.3. Model transformatora 2D w programie ANSYS 5.4® (odpowiada rys.2)

Fig. 3. Transfomer model 2D made by means of ANSYS® (corresponds with figure rys.2)

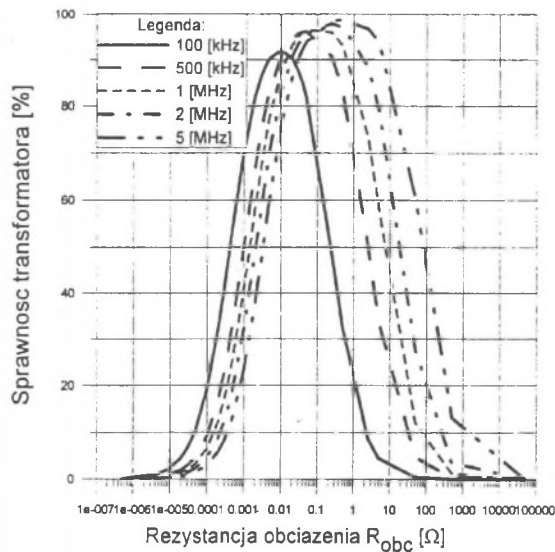


Rys.4. Widok siatki elementów skończonych w jednym zwoju uzwojenia pierwotnego transformatora

Fig.4. Meshing of over the cross-section of a tur of the primary winding

#### 4. WYNIKI OBLICZEŃ ZREALIZOWANE ZA POMOCĄ PROGRAMU ANSYS®

Obliczenia wykonano za pomocą programu ANSYS®, zakładając, że obciążeniem transformatora jest rezystancja. Zmieniano ją tak, aby objąć dwa charakterystyczne stany, bieg jałowy oraz zwarcie. Obliczenia wykonano w dwóch krokach. W pierwszym kroku określono maksymalną sprawność transformatora w funkcji rezystancji obciążenia, dla



poszczególnych wartości częstotliwości z zakresu od 100 kHz do 5 MHz. Wyniki tej części analizy przedstawia rys. 5. Natomiast dokładne wartości rezystancji obciążenia, przy których występuje maksymalna sprawność transformatora dla poszczególnych częstotliwości pracy, zawarto w tabeli 2.

Rys.5. Sprawność transformatora powietrznego w funkcji rezystancji obciążenia i częstotliwości

Fig.5. Efficiency of the transformer for frequency range from 100 kHz to 5 MHz

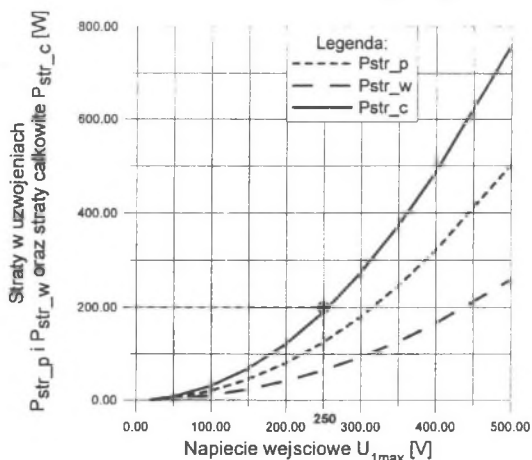
Tabela 2  
Wartości rezystancji obciążenia

$f$ kHz	$\eta_{max}$ %	$R_{obc}$ $\Omega$
100	92.001993	0.01
500	96.128219	0.05
1000	96.50482	0.1
2000	97.878352	0.2
5000	98.977018	0.5

Z powyższej analizy wynika, że wzrost częstotliwości pracy transformatora powoduje wzrost maksymalnej wartości sprawności. Dla  $f=100$  kHz maksymalna sprawność  $\eta=92\%$ , natomiast dla częstotliwości  $f=5$  MHz maksymalna sprawność  $\eta=98.9\%$ . Należy zauważyć, że punkt maksymalnej sprawności dla częstotliwości wyższych występuje przy większej rezystancji obciążenia  $R_{obc}$ .

Rezystancję, przy której występuje maksymalna wartość sprawności jako funkcja częstotliwości w zakresie 100 kHz do 5 MHz, można ująć za pomocą zależności (2). Jest to funkcja liniowa.

$$R_{obc} = 0.01\Omega \frac{f[\text{kHz}]}{100[\text{kHz}]} \quad (2)$$



Rys. 6. Charakterystyka strat mocy transformatora jako funkcja napięcia zasilania  $U_{1max}$ ; przy częstotliwości 500 kHz;  $P_{str_p}$ ,  $P_{str_w}$ ,  $P_{str_c}$ , odpowiednio, straty w uzwojeniu pierwotnym, wtórnym oraz straty całkowite

Fig. 6. Power losses in the windings and total losses in coreless transformer as the function of the input voltage  $U_{1max}$  for constant frequency  $f=500$  kHz;  $P_{str_p}$ ,  $P_{str_w}$ ,  $P_{str_c}$  losses of primary, secondary and total respectively

W drugim kroku prowadzono obliczenia dla danych  $R_{obc}$  z tabeli 2 (które odpowiadają maksymalnym sprawnościom) oraz zakładając maksymalne straty w uzwojeniach na poziomie  $P_{str}=200$  W. Dla tak dobranych założeń poszukiwano napięcia zasilającego  $U_{1max}$ ,

dla którego powyższe założenia były prawdziwe. Przykładowy wynik dla częstotliwości 500 kHz pokazano na rys. 6. Charakterystyka ta pozwala ustalić maksymalne napięcie, przy którym całkowite straty mocy są równe  $P_{str\_c}=200$  W. Z charakterystyki, rys. 6, wynika, że dla częstotliwości 500 kHz moc strat osiąga wartość dopuszczalną  $P_{str\_c}=200$  W przy napięciu  $U_{I_{max}}=250$  V. Wyniki dla innych częstotliwości są przedstawione w tabeli 3.

Dalsze charakterystyki przedstawiają wyniki obliczeń przy ustalonej częstotliwości 500 kHz, ustalonym napięciu zasilającym  $U_{I_{max}}=250$  V oraz zmiennym prądzie obciążenia – rys. 7 i 8.

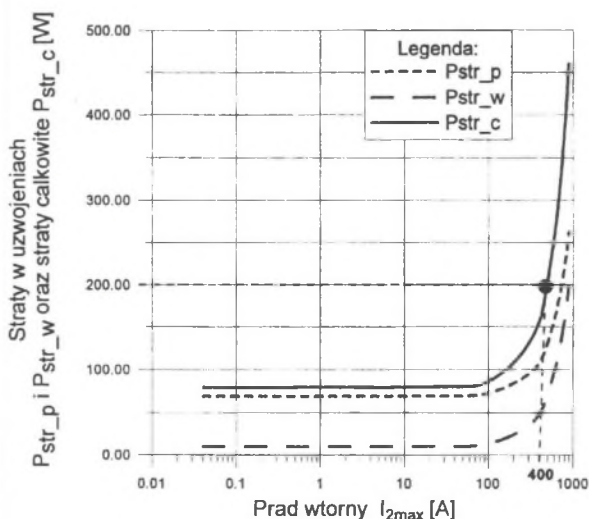
Z charakterystyk z rys. 7 i 8 wynika, że przy dopuszczalnych stratach  $P_{str}=200$  W i napięciu zasilającym  $U_{I_{max}}=250$  V prądu wtórny transformatora wynosi ok. 400 A, a moc wyjściowa jest na poziomie 4 kW. Wyniki dla pozostałych częstotliwości zostały zebrane w tabeli 3.

Z analizy danych tabeli 3 wynika, że wraz ze zwiększaniem częstotliwości:

- 1) sprawność rośnie,
- 2) maksimum sprawności przesuwają się w kierunku wyższych prądów,
- 3) moc wyjściowa (maksymalna) rośnie,
- 4) napięcie zasilania, przy którym osiągnięta jest moc maksymalna, rośnie oraz
- 5) wzrasta wartość prądu, przy którym sprawność osiąga maksimum.

Praca przy częstotliwościach powyżej 1 MHz powoduje wzrost napięć zasilających powyżej 500 V, co może być ograniczeniem ze względu na izolację transformatora oraz ze względu na napięcie wyjściowe falownika, który jest źródłem zasilającym.

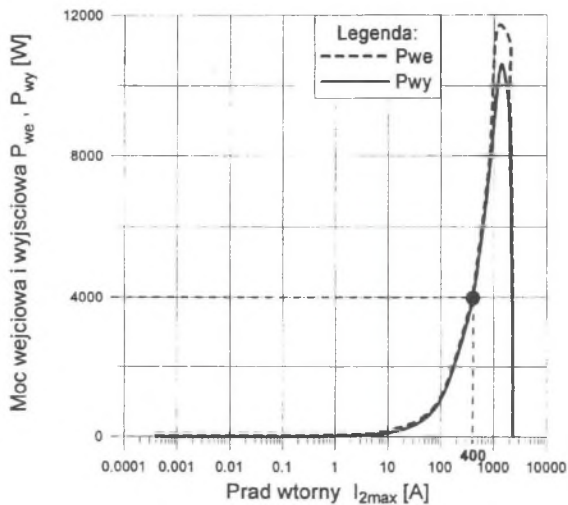
Przedstawiona powyżej analiza transformatora jest wzorcem, który może być zastosowany do obszerniejszej analizy, prowadzonej przy parametrach konstrukcyjnych w określonym zakresie dla różnych konstrukcji transformatorów.



Rys. 7. Moc strat w uzwojeniach oraz moc strat całkowitych w funkcji prądu obciążenia  $I_{2max}$  przy 500 kHz oraz  $U_{I_{max}}=250$  V;  $P_{str\_p}$ ,  $P_{str\_w}$ ,  $P_{str\_c}$  – odpowiednio, moc strat uzwojenia pierwotnego, wtórnego oraz moc strat całkowitych

Fig. 7. Power losses in windings and total losses of coreless transformer as the function of the output current  $I_{2max}$  for 500 kHz and  $U_{I_{max}}=250$  V;  $P_{str\_p}$ ,  $P_{str\_w}$ ,  $P_{str\_c}$  losses of primary, secondary and total ones, respectively





Rys. 8. Charakterystyka mocy wejściowej  $P_{we}$  i wyjściowej  $P_{wy}$  transformatora w funkcji prądu obciążenia przy 500 kHz oraz  $U_{lmax}=250$  V

Fig. 8. Input ( $P_{we}$ ) and output power ( $P_{wy}$ ) of the transformer as the function of the output current  $I_{2max}$  for 500 kHz and  $U_{lmax}=250$  V

Tabela 3

Charakterystyka strat mocy transformatora

f	$U_{lmax}$	$I_{lmax}$	$U_{2max}$	$I_{2max}$	$P_{we}$	$P_{wy}$	$\eta_{lmax}$
kHz	V	A	V	A	W	W	%
100	90	56.2	6.7	671.9	2531.8	2329.3	92
500	250	32.6	19.8	397.1	4210.3	4010.3	96
1000	473	29.9	36.6	366.6	7091.8	6891.3	96.5
2000	781	24.8	60.8	304.2	9685.3	9484.9	97.8
5000	1555	19.7	121.7	243.5	15386.5	15186.3	98.9

## 5. WNIOSKI I UWAGI

Z pracy wynikają następujące wnioski i uwagi:

1. W pracy przeanalizowano przykładową konstrukcję transformatora powietrznego przy założeniu, że dopuszczalna moc strat wynosi 200 W.
2. Analiza wykazała, że wraz ze wzrostem częstotliwości rośnie sprawność, moc oraz napięcie strony pierwotnej. W analizowanej konstrukcji przy częstotliwości 500 kHz wynoszą one odpowiednio 96 %, 4 kW, 250 V<sub>(max)</sub>. Zaś przy częstotliwości 1 MHz mają one wartość 96.5%, 6.81 kW, 473 V.
3. Moc maksymalna transformatora jest ograniczona dopuszczalną mocą strat oraz napięciem na uzwojeniach.

4. Przeprowadzona analiza może stanowić wzorzec bardziej ogólnej analizy, w której uwzględnione byłyby parametry konstrukcyjne i różne rodzaje konstrukcji transformatora.
5. Dalsze badania obejmować będą: badania pola elektrostatycznego, syntezę parametrów schematu zastępczego, w którym uwzględnione są pojemności transformatora, badania pola temperaturowego, badania optymalizacyjne zaprezentowanego w pracy transformatora oraz badania optymalizacyjne transformatorów o innych konstrukcjach.

## LITERATURA

1. Andrew F., Martin F.: Issues related to 1- 10 MHz Transformer Design, IEEE No. 1, January 1989.
2. ANSYS User's Manual, Revision 5.3.
3. Bolkowski S.: Komputerowe metody analizy pola elektromagnetycznego, WNT, Warszawa 1996.
4. Cogitore B.: The two winding transformer: an experimental method to obtain a wide frequency range equivalent circuit, Poitiers, France 4-8 September 1995.
5. Hayano S., Nakajima Y., Saotome H., Saito Y.: A new Type High Frequency Transformer, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 27, No 6, November 1991, pp. 5205-5207.
6. Jawad Faiz, Abed-Ashtiani B and Byat M.TR.: Lumped Complete Equivalent Circuit of a Coreless High-Frequency Transformer, IEEE Trans. on Magnetics, Vol. 33, No 1, January 1997, pp. 703-707.
7. Kaczmarczyk Z.: Analiza energoelektronicznych falowników rezonansowych klasy E wysokiej częstotliwości. Rozprawa doktorska, Inst. Elektrotechniki Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996.
8. Konrad A., Integrodifferential Finite Element Formulation of Two-dimensional Steady-State Skin effect Problems, IEEE Trans. on MAG., No.2, 1998, pp. 1455-1458.
9. Kurek K.: Zastosowanie numerycznej symulacji do analizy pracy i projektowania cylindrycznych nagrzewnic indukcyjnych skośnych. ZN Politechniki Śląskiej z. 153, Gliwice 1998.
10. Sajdak Cz. Samek E.: Nagrzewanie indukcyjne, podstawy teoretyczne i zastosowanie, Katowice 1985.
11. Tabaga S., Pierrat L., Blache F.: Parameter computation of a planar transformer by 3D finite element method, Proceedings of EPE'95, pp. 1.273-1.276
12. Vandelaec J.P.: A novel approach for minimizing high-frequency transformer copper losses, IEEE Transactions On Power Electronics, July 1988.

Praca została wykonana w ramach projektu badawczego KBN 8 T10A 058 14

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stanisław Piróg

Wpłynęło do Redakcji 2 lipca 1999 r.

## Abstract

The need for new energy and cost effective solutions of the transformer motivates the work. The frequency influence on the features of coreless transformers of the given construction is presented in the paper. Apart from the construction, permissible power losses (200 W), the range of frequency from 500 kHz to 5 MHz and sinusoidal supplying voltage have been assumed for the analysis. The calculations have been made by means of finite element method (FEM) aided with ANSYS® program. The work has been carried out as follows. The calculations of efficiency as a function of the load resistance and five values of frequency have been the first step of the analysis – the result is depicted in Fig. 5. One can observe that the maximum value of efficiency increases with the decrease of the load current. The maximum value of efficiency together with the relevant load resistance is given in Table 2. After, it has been checked that the efficiency reaches its maximum for the certain value of the load resistance not being dependent on the supplying voltage. Then the characteristic of primary  $P_{str\_p}$ , secondary  $P_{str\_w}$  and the total  $P_{str\_c}$  have been calculated as a function of the input voltage and  $U_{lmax}$  and presented in Fig. 6 for frequency of 500 kHz. The result of this characteristic is a permissive input voltage of 250 V for which the total power losses are 250 W. The permissive voltages for other four frequencies are given in Table 3. The calculation of power losses for the full range of load current variation  $I_{2max}$  has been the next step. An example for input voltages of 250 V and 500 kHz is shown in Fig 7. The permissive power loss is reached for 400 A of output current. The remaining data is obtained from such characteristic as presented in Fig. 8 where the plot of input and output powers of the transformer as a function of output current  $I_{2max}$  is given. The complete data resulting from analysis is given in Table 3. The analysed transformer can operate at 500 kHz being supplied with the voltage of 500 V, having approximately 4 kW of output power and efficiency of 96%.