

CWICZENIE 2.

TRANSFORMATOR IMPULSOWY

I. Zakres cwiczenia.

Identyfikacja parametrów elektrycznych transformatora impulsowego przy pomocy konwencjonalnych metod pomiarowych. Wyznaczenie przebiegów charakterystyki amplitudowej oraz odpowiedzi skokowej w oparciu o schematy zastępcze i rezultaty pomiarów identyfikacyjnych. Pomiarów charakterystyk amplitudowej i skokowej.

II. Przedmiot cwiczenia.

Przedmiotem cwiczenia jest zespół rdzeniowych transformatorów impulsowych, wykonanych na ferromagnetycznych rdzeniach kubkowych, **Nr.1** - ze szczelina powietrzna, oraz **Nr.2** - bez szczeliny. Obydwa transformatory uzwojono techniką bifilarną; ich przekładnie zwojowe wynoszą w konsekwencji $n = 1$.

III. Program cwiczenia - instrukcja szczegółowa.

1) Identyfikacja parametrów elektrycznych transformatora.

Procedura identyfikacji parametrów elektrycznych transformatora zmierza do wyznaczenia wartości następujących wielkości:

- rezystancji uzwojenia pierwotnego r_1
- rezystancji uzwojenia wtórnego r_2
- indukcyjności głównej L
- łącznej indukcyjności rozproszenia L_s
- łącznej pojemności własnej C .

Pomiaru oporności uzwojeń należy dokonać metodą mostkową, posługując się w tym celu technicznym mostkiem RLC typ E 317 A względnie miernikiem typu CHY41.

Ten sam mostek zastosować do pomiaru indukcyjności głównej transformatora, zapinając go na zaciski uzwojenia pierwotnego przy rozwartym uzwojeniu wtórnym

Wyznaczenia wartości L_s oraz C można dokonać metodą pośrednią przez pomiar częstotliwości drgań własnych generowanych w warunkach słabego (podkrytycznego) tłumienia przy pobudzeniu skokowym. Okres drgań własnych określa formuła

$$T = 2\pi \sqrt{a L_s C}$$

gdzie: $a = R_2 / (R_1 + R_2)$

$R_1 = (r_1 + R_g)$ - sumaryczna oporność po stronie pierwotnej

$R_2 = [(r_2 + R_b) / n^2]$ - sumaryczna oporność strony wtórnej przeniesiona na pierwotną,

rzy czym

- R_g - opornosc zródla sygnalu (generatora)
- R_b - opornosc obciazenia transformatora

Dla wyznaczenia wartosci L_s i C nalezy wykonac dwa pomiary okresu drgan wlasnych:

- T_0 - uwarunkowanego wylaczenie parametrami wewnetrznymi transformatora, oraz
- T_c - w warunkach wlaczenia dodatkowej pojemnosci zewnetrznej C_d .

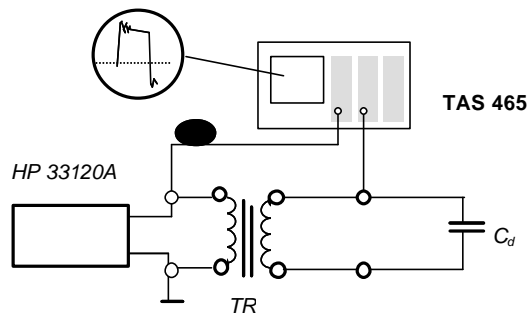
Dane pomiarowe uzyskane w tych procedurach pozwalaja napisac ukklad dwóch równan o dwu niewiadomych L_s i C , a w konsekwencji obliczyc ich wartosci. Determinuja je proste zalezności:

$$C = C_d T_0^2 / (T_c^2 - T_0^2)$$

oraz

$$L_s = (T_c^2 - T_0^2) / 4\pi a C_d$$

Na rysunku 1 podano schemat ukkladu pomiarowego okresu drgan (oscylacji) wlasnych.

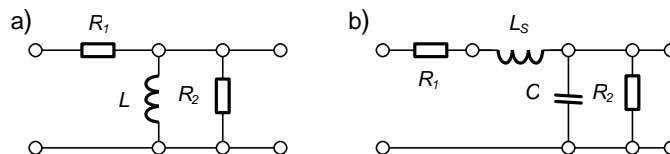


Rys. 1. Schemat ukkladu do pomiaru okresu drgan wlasnych transformatora

Zródlem pobudzenia skokowego jest tu generator typu PGP-6, do obserwacji odpowiedzi pomiaru okresu oscylacji sluzzy natomiast synchroskop pomiarowy typu C1-64 pracujacy w trybie wyczekujacej podstawy czasu. (W ikonke na rysunku 1 ukazano przyblizony ksztalt odpowiedzi transformatora na wymuszenie impulsem prostokatnym).

2) Wyznaczenie charakterystyki amplitudowej w oparciu o modele teoretyczne.

Korzystajac z danych pomiarowych otrzymanych w pomiarach identyfikacyjnych wyznaczyc przebiegi charakterystyki amplitudowej w obszarze **niskiej** i **wysokiej** czestotliwosci, zgodnie z uproszczonymi schematami zastepczymi transformatora dla tych zakresów. Schematy te przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Schematy zastepcze transformatora w zakresie niskich (a) i wysokich (b) czestotliwosci

Ponizej podano, w notacji uzytej na rysunkach, formuly teoretyczne opisujace transmitancje obu ukladow zastepczych.

Dla zakresu niskich czestotliwosci (a) przyjmuje ona forme

$$F(p)_{NCz} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{p}{p + \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)L}}$$

natomiast w obszarze czestotliwosci wysokich (b) opisuje ja wyrazenie

$$F(p)_{wcz} = \frac{R_2}{p^2 L_s C R_2 + p(L_s + C R_1 R_2) + (R_1 + R_2)}$$

Transmitancje stanowa podstawa do opisu wlasnosc transformatora w domenie czestotliwosci w formie charakterystyk amplitudowej $F(\omega)$ i fazowej $\phi(\omega)$ oraz w dziedzinie czasu jako charakterystyka impulsowa $h(t)$ lub skokowa $R(t)$. Zgodnie z zalozonym programem cwiczenia przedmiotem zadan szczegolowych sa dwie charakterystyki: amplitudowa i skokowa.

Proste procedury obliczeniowe prowadza do nastepujacych postaci charakterystyk amplitudowych:

- dla zakresu niskich czestotliwosci (a)

$$F(\omega) = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \frac{1}{1 + j\omega \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)L}}$$

- dla zakresu wysokich czestotliwosci (b)

$$F(\omega) = R_2 \left\{ [(R_1 + R_2) - \omega^2 L_s C R_2]^2 + \omega^2 [L_s + C R_1 R_2]^2 \right\}^{-\frac{1}{2}}$$

Obliczenia przeprowadzic korzystajac z dostepnego w laboratorium komputera PC; sporzadzic wykresy czastkowych funkcji $F(\omega)$ oraz lacznej charakterystyki w pelnym zakresie czestotliwosci i dokonac ich wydruku.

Nieco bardziej zlozone obliczenia pozwalaja wyznaczyc charakterystyki skokowe $R(t)$. Wedlug definicji stanowa one odpowiedz układu na wymuszenie skokowe $1 \cdot H(t)$. Dostarczaja one, stosownie do przyjetego schematu zastepczego, informacji o przenoszeniu *czola wymuszenia* (stromosci i ksztaltu) wzglednie jego *grzbietu*. Na podstawie ukladu (rys. 2.2a) stosunkowo prosto wyznaczyc mozna tzw. *zwis* (Z) przenieszonego impulsu prostokatnego. Stanowi go spadek poziomu odpowiedzi skokowej $R(t)_{NCz}$ w interwale rozciaglosci czasowej t_i takiego impulsu, przy czym

$$R(t)_{NCz} = a \exp\left\{ -\frac{t}{\tau} \right\} \cong a \left[1 - \frac{t}{\tau} + \dots \right]$$

gdzie $\tau = \frac{L(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}$, a wynikajaca stad wartosc zwisu wynosi $Z \cong a \left[\frac{t_i}{\tau} \right]$.

Odpowiedz skokowa układu według schematu zastępczego (rys. 2.2b) uwarunkowana jest wartościami biegunów funkcji operatorowej $F(p)_{wCz}$. Są one opisane ogólną zależnością

$$p_{1,2} = \frac{2\pi}{T} \left[\frac{\chi}{\chi} - k \pm j \sqrt{1-k^2} \right] \rho,$$

w której parametr k reprezentuje *współczynnik tłumienia* uzależniony od wartości parametrów transformatora relacja

$$k = \frac{T}{4\pi} \left[\frac{\chi}{\chi} \frac{R_1}{L_s} + \frac{1}{R_2 C_s} \right] \rho.$$

Łatwo zauważyć, że dla dodatniej wartości wyrażenia podpierwiastkowego bieguny stanowią parę rzeczywistą, zaś dla wartości ujemnych sprężona parę zespoloną. Przy jej wartości zerowej istnieje natomiast tylko jeden, rzeczywisty biegun podwójny. Odpowiadające powyższym przypadkom tłumienia przyjęto odpowiednio zwyczajem tłumieniem *podkrytycznym* ($k < 1$), *krytycznym* ($k = 1$) i *nadkrytycznym* ($k > 1$). W konsekwencji dla wyznaczonych w ten sposób wartości k odpowiedzi skokowe przyjmują istotnie odmienne postaci.

W szczególności:

- dla $k < 1$

$$R(t) = a \left\{ 1 - \left[\frac{k}{\sqrt{1-k^2}} \sin \left[\frac{\chi}{\chi} 2\rho \sqrt{1-k^2} \frac{t}{T} \right] + \cos \left[\frac{\chi}{\chi} 2\rho \sqrt{1-k^2} \frac{t}{T} \right] \right] \exp \left[\frac{\chi}{\chi} - \frac{2\rho}{T} \frac{kt}{\rho\tau} \right] \right\},$$

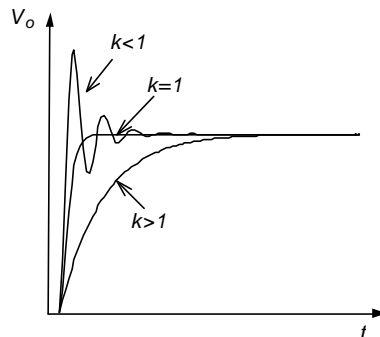
- dla $k = 1$

$$R(t) = a \left[1 - \left[\frac{\chi}{\chi} 1 + 2\rho \frac{t}{T} \right] \exp \left[\frac{\chi}{\chi} - 2\rho \frac{t}{T} \right] \right],$$

- dla $k > 1$

$$R(t) = a \left[1 - \frac{4k^2}{4k^2 - 1} \exp \left[\frac{\chi}{\chi} - \frac{\rho}{kT} \frac{t}{\rho} \right] + \frac{1}{4k^2 - 1} \exp \left[\frac{\chi}{\chi} - \frac{4\rho}{T} \frac{kt}{\rho\tau} \right] \right].$$

Przebiegi odpowiedzi skokowej dla wyróżnionych warunków tłumienia przedstawiono poglądowo na rysunku 3.

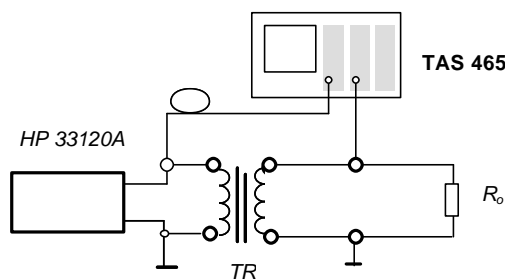


Rys. 3. Przykładowe przebiegi odpowiedzi skokowej transformatora przy różnych tłumieniach

Na podstawie wyników pomiarów identyfikacyjnych obliczyć wartość współczynnika tłumienia jednego z transformatorów i stosownie do uzyskanego wyniku – korzystając z grafiki komputerowej – zobrazować przebieg odpowiedzi skokowej.

3) Eksperymentalne wyznaczenie charakterystyki amplitudowej transformatora.

Zestawić układ pomiarowy według rysunku 4. Stanowi on modyfikację układu z rysunku 1, w której w miejsce generatora PGP-6 wstawiono generator sygnału sinusoidalnie zmiennego PG-20. Pomiar charakterystyki przeprowadzić metodą „punkt po punkcie”, ze szczególnym zagęszczeniem punktów pomiarowych w początkowym i końcowym obszarze pasma przenoszenia. Dla określenia tych obszarów skorzystać z wyników poprzednich pomiarów i obliczeń numerycznych. Przyjąć amplitudę sygnału wejściowego na poziomie kilku woltów.



Rys. 4. Schemat układu do pomiaru charakterystyki amplitudowej transformatora

Przedmiotem bezpośredniego pomiaru są w tym przypadku amplitudy sinusoidalnie zmiennego sygnału wejściowego $V_i \sim$ oraz wyjściowego $V_o \sim$. Pomiarów należy wykonać przy pomocy dwukanałowego synchronoskopu pomiarowego typu C1-64 dla dwóch skrajnie różnych obciążeń transformatora ($1\text{ M}\Omega$ i $100\ \Omega$).

Rezultaty pomiarów punktowych przedstawić w ujęciu tabelarycznym oraz wykreslnie odwzorowując wzmocnienie w dB oraz częstotliwość w skali logarytmicznej.

4) Pomiar charakterystyki przejściowej transformatora.

Celem tego pomiaru jest wyznaczenie przekładni napięciowej transformatora oraz zakresu jego liniowej pracy. Należy go przeprowadzić w układzie z rys.3 dla częstotliwości $f=10\text{ kHz}$ stosując w tym przypadku generator sinusoidalny o szerszym zakresie napięć, a mianowicie generator RC typu PO-18. Wyznaczyć charakterystyki V_o-V_i obu transformatorów oraz sprawdzić czy ich przekładnie są równe jedności. Określić dopuszczalny poziom sygnału wejściowego, powyżej którego pojawiają się zniekształcenia.

5) Pomiar odpowiedzi transformatora na impuls prostokątny.

Pomiar ten przeprowadzić w układzie zestawionym uprzednio do pomiaru okresu drgań własnych, uwidocznionym na rysunku 1.

Zmierzyć czas narastania zbocza wiodącego i opadającego odpowiedzi na wymuszenie impulsem prostokątnym o czasie trwania $t_{\text{imp}}=1\ \mu\text{s}$, oraz **zwis** odpowiedzi przy długości impulsu wymuszającego równej $t_{\text{imp}}=1\text{ ms}$. Pomiarów te przeprowadzić dla dwóch znacząco

różnych wartości oporności obciążenia transformatora, a mianowicie dla $R_2=100 \text{ k}\Omega$, oraz $R_2=100 \Omega$. Przerysować odpowiedzi z ekranu synchronoskopu.

6) Symulacyjne badania własności transformatora impulsowego.

Zapoznać się z demonstracyjnym programem symulacyjnym transformatora impulsowego zainstalowanym w komputerze Laboratorium. Zaobserwować wpływ elementów zewnętrznych (R_g , R_2 , C_0) na charakterystyki transformatora. Porównać charakterystyki symulacyjne z odpowiednimi charakterystykami wyznaczonymi w pomiarach bezpośrednich. Opisać zwięźle wyniki obserwacji.

Informacje o programie symulacyjnym.

Program źródłowy **TRANSF.PAS** został napisany w języku **Turbo Pascal** wersja 7.0. Jego kod wynikowy w postaci zbioru **TRANSF.EXE** może być wykonywany z poziomu systemu operacyjnego **DOS** na komputerach klasy **PC 386** i wyższych zgodnych ze standardem opracowanym przez **IBM** zarówno z procesorem numerycznym jak i bez.

Program wykorzystuje następujące moduły programowania:

- * **System** - zawiera funkcje i procedury obsługujące zbiory (w tym operacje wejścia wyjścia) i inne.
- * **Crt** - modul obsługi ekranu i klawiatury.
- * **Graph** - pakiet funkcji i procedur do obsługi grafiki ekranowej przy różnych kartach graficznych,
- * **Dos** - umożliwia wykonywanie funkcji i poleceń systemu operacyjnego, w tym m.i. wykonywania programów.

Po uruchomieniu programu **TRANSF.EXE** na ekranie monitora pojawia się krótka informacja o programie. Istnieje tu możliwość rezygnacji tzn. zakończenia programu (opcja **K**) Na ekranie zawsze znajduje się podpowiedź co do dalszego poruszania się po programie w postaci opcji wyboru lub też napisu np.: [Enter]. Wybranie opcji **D** powoduje przejście do drugiej planszy informacyjnej gdzie podany jest bardziej szczegółowy opis. Nacisnięcie zalecanego przez program klawisza [Enter] uruchamia procedurę informującą użytkownika o możliwości zapisu plików danych do istniejącego lub nowego katalogu. Przez wybranie opcji **I** przechodzimy do podania nazwy istniejącego katalogu, natomiast opcja **N** pyta użytkownika o nazwę nowego katalogu i po jej podaniu tworzy go na dysku **C:**. Następnym krokiem jest pojawienie się na planszy informującej o wprowadzonych przykładowych parametrach transformatora. Po tej informacji uruchamiana jest procedura pierwszego wprowadzania granic analizy tj. określenia dwóch przedziałów częstotliwości odpowiadających dwóm modelom teoretycznym (niskiej i wysokiej częstotliwości), a następnie program przechodzi do głównego menu. Istnieją tu następujące możliwości:

- „O” - wyświetlenie planszy informacyjnej,
- „D” - uruchomienie procedury zmiany wszystkich parametrów transformatora,
- „G” - zmiana granic analizy,
- „P” - zmiana pojedynczo wybranych parametrów transformatora,
- „F”, „A”, „I” - uruchomienie procedur obliczających i obrazujących charakterystyki - odpowiednio: fazowa, amplitudowa oraz skokowa.
- „Esc” - opcja pozwalająca na pełne wyjście z programu.

Wraz z wykonywaniem procedur obliczających charakterystyki na dysku C:\ w podanym przez użytkownika katalogu zapisywane są wyniki obliczeń w postaci zbiorów z rozszerzeniem **DAT**, którym nazwy nadaje użytkownik. W zbiorach oprócz danych z obliczeń zapisywana jest również informacja o wprowadzonych parametrach transformatora impulsowego jak i inne; np. pochodzenie pliku. Przez cały czas program **TRANSF.EXE** kontroluje stan dysku C:\ i w przypadku gdy stwierdzi, że ilość wolnego miejsca jest mniejsza od 700 KB informuje o tym i kończy swą działalność.

IV. Wyposażenie stanowiska ćwiczeniowego.

- Moduł ćwiczeniowy zawierający dwa transformatory impulsowe.
- Mostek techniczny RLC typu E 317 A
- Generator wielofunkcyjny typu PGP-6
- Synchroskop pomiarowy typu TAS 465
- Generator sygnałowy typu PG-20
- Generator RC typu PO-18
- Zasilacz niskiego napięcia typu KB-60-01
- Kable, przewody i elementy bierne.

nadto ogólnie dostępny komputer klasy PC z oprogramowaniem ćwiczenia („TRANSF”)

V. Literatura pomocnicza.

1. K.Korbel.: *Układy elektroniki „Front-End”*. Skrypt Uczelniany AGH Nr.1573. Wyd. AGH, Kraków, (1999).
2. E.C.Loveless i J.Grossart.: *The use of pulse transformers with radiation detectors*. Nuclear Electronics II (Conf.Proc.) 317, IAEA, Vienna, (1962).
3. Z.Nieckarz.: *Identyfikacja parametrów znamionowych transformatora impulsowego*. Praca magisterska, WFiTJ AGH, Kraków, (1996).