



## Przetwornice impulsowe Potworki i straszydła

Mam nadzieję, że teraz lepiej rozumiesz sens takich straszdeł jak  $B$ ,  $H$ ,  $\mu$ ,  $\Phi$ ,  $\Psi$ ,  $\Theta$  i rozumiesz ich wzajemne zależności. W zasadzie omówiłem tu wszystkie ważniejsze wzory występujące w mądrych książkach. Niech od tej pory nie wywołują już u ciebie gęsiej skórki na plecach. Nie bój się tych wzorów.

Podbudowałem cię, prawda? Przypuszczam, że uzbrojony w świeżo zdobytą wiedzę, mógłbyś obliczyć, czy w danych warunkach, konkretna cewka z rdzeniem będzie pracować w zakresie liniowym, czy też w zakresie nasycenia. Chyba już teraz nie masz wątpliwości, iż (prawie) wszystkie ograniczenia związane z cewkami wynikają właśnie z właściwości rdzenia, i w sumie chodzi o to, by nie doprowadzić do nasycenia rdzenia (choć są nieliczne wyjątki).

Jeśli tak, to mając w katalogu charakterystykę materiału w postaci krzywej magnesowania (pętla histerezy) i wybierając rdzeń o pewnych wymiarach (też zresztą podanych w katalogu), znając też liczbę zwojów cewki i szczytową wartość prądu płynącego przez to uzwojenie, mógłbyś obliczyć na początek uzyskane natężenie pola:

$$H = \frac{Iz}{l}$$

potem na wykresie sprawdzić, jaką wartość indukcji  $B$  w rdzeniu uzyskasz przy takim natężeniu pola. Jeśli uzyskana wartość indukcji będzie leżeć na początkowym, stromym fragmencie charakterystyki, uznasz, że wszystko jest w porządku.

Jeśli natężenie  $H$  okazałoby się zbyt duże i rdzeń pracowałby w nasyceniu, musisz jeszcze raz przeprowadzić obliczenia dla rdzenia o większych wymiarach.

Czy takie rozumowanie cię przekonuje? Wszystko proste, prawda?

Po odrobinie zastanowienia prawdopodobnie potrafiłbyś sam przekształcić podane wzory, by z ich pomocą zaprojektować cewkę do konkretnego zastosowania. Na pewno ci się wydaje, że wreszcie jesteś bardzo blisko celu: jeśli potrzebna jest cewka o pewnej indukcyjności (podanej np. w materiałach katalogowych producenta scalonych przetwornic), to przyjmiesz jakąś wartość  $A_L$  i obliczysz liczbę zwojów:

$$z = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

nie zapominając, by wartość indukcyjności podałeś w nanohenrach.

Potrzebna będzie jeszcze wartość prądu maksymalnego  $I$ , oczekiwana w układzie. Mając te dane i katalog rdzeni ferrytowych (gdzie podano wartości  $S$ ,  $l$  i  $A_L$  rdzeni) można obliczyć natężenie  $H$  i na charakterystyce magnesowania ferrytów (zależność  $B$  od  $H$ ) sprawdzić, jaka jest indukcja  $B$ , a tym samym, czy materiał nie ulegnie nasyceniu.

Sielanka...

Nie do końca! Czy aby tu nie ma jakiejś pułapki?

Pamiętaj, że wszystkie wcześniejsze rozważania dotyczyły idealnego rdzenia w kształcie toroidu. Nato-

miał przed chwilą przeszliśmy chyłkiem do praktycznej wartości  $A_L$  podanej w katalogu. Czy jednak o czymś nie zapomnieliśmy, tak szybko przechodząc od „idealnego” rdzenia toroidalnego do rdzeni spotykanych w praktyce? Być może spotkałeś się już z rdzeniami kubkowymi, rdzeniami RM, czy rdzeniami ETD i CC.

W praktyce częściej stosujemy rdzenie inne niż toroidy, między innymi dlatego, że trudno jest nawinąć uzwojenie na zamkniętym rdzeniu toroidalnym. Kwestia kształtu nie jest jednak poważnym problemem i tu nie ma poważniejszej pułapki, bowiem producenci podają w katalogach dla rdzeni o różnych kształtach średnie (można powiedzieć: zastępcze) wartości przekroju  $S$  i długości  $l$ , i wszystko można przeliczyć.

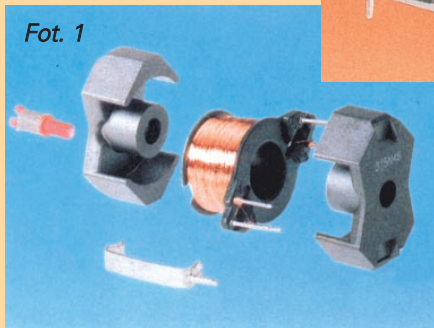
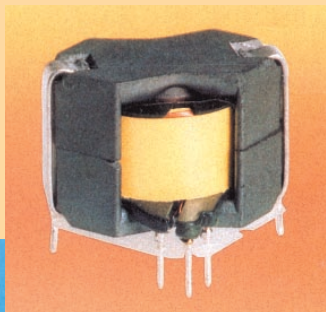
A więc kształt rdzenia nie jest problemem. Poważniejszą sprawą jest natomiast **szczelina w rdzeniu**.

Czy się zastanawiałeś, dla jakich warunków pracy określono współczynnik

$A_L$ ? Przecież wartość  $A_L$  wyznaczona jest głównie wartością  $\mu$ . Którego  $\mu$ ? Nieprzypadkowo przed miesiącem (na rysunku ?) pokazałem ci, że w zależności od warunków pracy, wartość  $\mu$  jest określana odmiennie! Ale teraz nie mówimy o różnym sposobie

określania wartości  $\mu$  materiału rdzenia. Chodzi o coś jeszcze innego.

Prawdopodobnie wiesz, że u producenta rdzeni można zamówić rdzenie z tego samego ferrytu, mające takie same wymiary, a różniące się jedynie wartością stałej  $A_L$ . Jak uzyskuje się różne wartości  $A_L$ ? Czyżby zmieniała się wartość  $\mu$  mate-



## Listy od Piotra

rialu? Nie! Przecież cały czas mówimy o takim samym materiale, który jest scharakteryzowany jedną i tą samą pętlą histerezy.

To skąd różne wartości  $A_L$ ?

Po prostu większość rdzeni składa się z dwóch części (połówek). Styk obu części nie jest idealny. Obwód magnetyczny nie jest więc ciągły, jak na rysunku 12b, tylko jest przerywany szczeliną powietrzną. **Fotografia 1** i **rysunek 19** pokazują budowę rdzenia z rodziny RM.

Jak widać, w rzeczywistości obwód magnetyczny składa się z dwóch części: ferrytu i powietrza.

Tymczasem powietrze (podobnie jak próżnia) ma bardzo małą przenikalność magnetyczną. Ferryty i blachy transformatorowe mają przenikalność setki, tyśiące, a nawet dziesiątki tysięcy razy większą! Nic dziwnego, że już niewielka szczelina szerokości ułamków milimetra w znaczący sposób zmienia właściwości magnetyczne rdzenia (ale nie zmienia właściwości samego ferrytu).

Jak się słusznie domyślasz, szczelina znacznie zmniejsza wypadkową przenikalność magnetyczną.

Przypuszczam, że podobnie jak duża część elektroników, masz kłopoty z właściwym zrozumieniem roli szczeliny.

Pomyśl!

Z jednej strony, z podanych wcześniej wzorów wynikałoby, iż szczelina jest złem koniecznym i powinna być jak najmniejsza. Rzeczywiście, rzut oka na wzór na energię

$$E = \frac{z^2 \times I^2 \times \mu \times S}{2l}$$

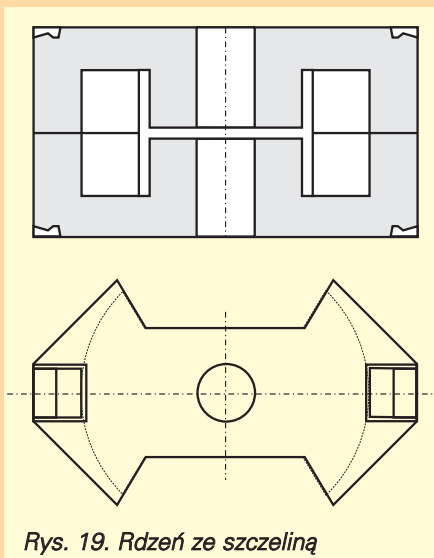
wskazywałby, że zmniejszenie wypadkowej wartości  $\mu$  całego rdzenia zmniejsza energię magazynowaną w tym rdzeniu.

Z drugiej strony, zapewne obito ci się gdzieś o uszy, że to właśnie w szczelinie magazynuje się znaczna część, jeśli nie większość energii gromadzonej w cewce.

Sprzeczne zeznania! Coś tu nie gra!

Spróbuj sam znaleźć wyjaśnienie. Jeśli masz kłopoty, pomogę ci. Na początek nie będziemy analizować wzorów, wrócimy do analogii ze sprężynkami i spróbujemy wykorzystać intuicję, a dopiero później wgrzyziemy się w sedno sprawy.

Jak uważasz, czy powietrze lub próżnia zawierają „elementarne magnesiki ze sprężynkami” o których mówiliśmy



Rys. 19. Rdzeń ze szczeliną

wcześniej? O, to jest dość trudne, ale i bardzo ważne pytanie!

No to jak, zawierają?

Przecież cewka bez rdzenia, a właściwie z rdzeniem powietrznym przy przepływie prądu też wytwarza jakieś natężenie pola magnetycznego  $H$ , które z kolei powoduje powstanie jakiejś indukcji  $B$ . Szkopuł w tym, że próżnia i powietrze mają bardzo małą przenikalność  $\mu$  (równą  $\mu_0$ , czyli  $1,257 \times 10^{-6} \text{H/m}$ ), a więc dane natężenie pola wywoła bardzo małą indukcję  $B$  w powietrznym „rdzeniu”. A jednak wywoła! Czyli można powiedzieć, że powietrze i próżnia też mają „magnesiki na sprężynkach”.

A jakie są te „sprężynki” powietrza? Słabiutkie, czy bardzo sztywne?

Co to znaczy bardzo słabe sprężynki? To takie, które już przy niewielkiej wartości czynnika wymuszającego (prądu w cewce i natężenia pola  $H$ ), odchylają się do końca, czyli szybko dochodzą do stanu nasycenia. Jeśli są takie delikatne, to oczywiście nie można w nich magazynować dużych ilości energii.

Czy podobnie jest z powietrzem i próżnią? Ależ skąd! Żeby uzyskać dużą indukcję  $B$  należy wytworzyć bardzo duże natężenie pola  $H$ . Wychodzi na to, że próżnia i powietrze mają niesamowicie twarde sprężynki.

Twarde? Jeśli twarde to bardzo dobrze – w takich twardych sprężynkach na pewno można magazynować bardzo dużo energii.

A więc jednak! To właśnie w szczelinie magazynuje się znaczna część energii cewki!

Znów jesteś zaskoczony? Wcześniej wydawało ci się, że duża przenikalność ferrytu (miękkie sprężynki) to błogosławieństwo. A teraz wychodzi na to, że czym większa szczelina powietrzna, tym więcej energii zmagazynujesz... Paranoja.

Jeśli szczelina powietrzna jest takim błogosławieństwem, to po co ja ci to wszystko tłumaczę? Wywalmy cały ten ferrytowy rdzeń i zostawmy cewkę powietrzną – w takiej cewce na pewno moglibyśmy zmagazynować ogromną ilość energii... Przecież „sprężynki” powietrza są takie sztywne... A na dodatek nie ma niepożądanego zjawiska nasycenia...

Zaraz, coś tu się nie zgadza. Czy popełniamy jakiś karygodny błąd w rozumowaniu?

Nie. Teoretycznie rzeczywiście w cewce powietrznej można zmagazynować ogromną ilość energii, ale... w praktyce nie da się tego zrobić.

Jeszcze raz popatrz na wzór

$$E = \frac{z^2 \times I^2 \times \mu \times S}{2l}$$

Jeśli w cewce powietrznej przenikalność  $\mu$  ma bardzo małą wartość, to dla zmagazynowania dużych ilości energii i musiałbyś albo zwiększać ilość zwojów  $z$ , albo prąd  $I$ , bo nie możesz w jednocześnie zwiększać pola  $S$  i zmniejszać długości  $l$ .

Jeśli przykładowo przenikalność powietrza jest dziesięć tysięcy razy mniejsza od przenikalności ferrytu, to żeby w cewce powietrznej zgromadzić tyle samo energii, co w cewce z rdzeniem ferrytowym, musiałbyś albo stukrotnie zwiększyć liczbę zwojów, albo stukrotnie zwiększyć natężenie prądu. Stukrotnie, bo zarówno liczba zwojów, jak i prąd występują we wzorze w drugiej potęgze, a  $100^2 = 10000$ .

Nie zapomnij przy tym, że do tej pory mówiliśmy o idealnej cewce mającej zerową rezystancję. Pomijaliśmy rezystancję uzwojenia. W praktyce cewka wykonana jest z drutu miedzianego, mającego jakąś, w sumie znaczną, rezystancję. Jeśli stukrotnie zwiększysz ilość zwojów, to ogromnie zwiększysz rezystancję (zwłaszcza, gdy wymiary cewki miałyby pozostać niezmiennie, musiałbyś radykalnie zmniejszyć grubość drutu uzwojenia), a tym samym ogromnie zwiększysz straty mocy na rezystancji uzwojenia wyrażone znany wzorem



## Tranzystory dla początkujących (c.d. ze str. 76)

W porządku! A co wtedy, gdy złącze tranzystora się podgrzeje? Przypomnij sobie wiadomości z poprzedniego odcinka. Przy tym samym napięciu na bazie wzrośnie prąd kolektora i spadnie napięcie kolektora.

Przy omawianiu rysunku 14b nie wzięliśmy pod uwagę szczegółów rozplywu prądu – część prądu płynącego przez re-

zystor R2 będzie płynąć do bazy, a nie przez rezystor R3. Czy potrafiłbyś dobrać rezystory dzielnika uwzględniając ten fakt?

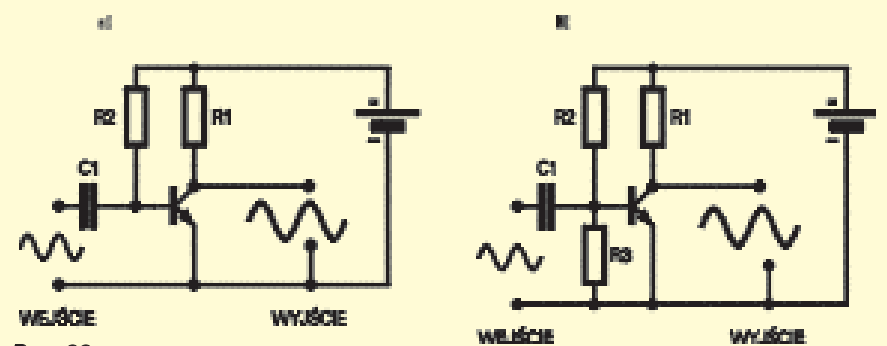
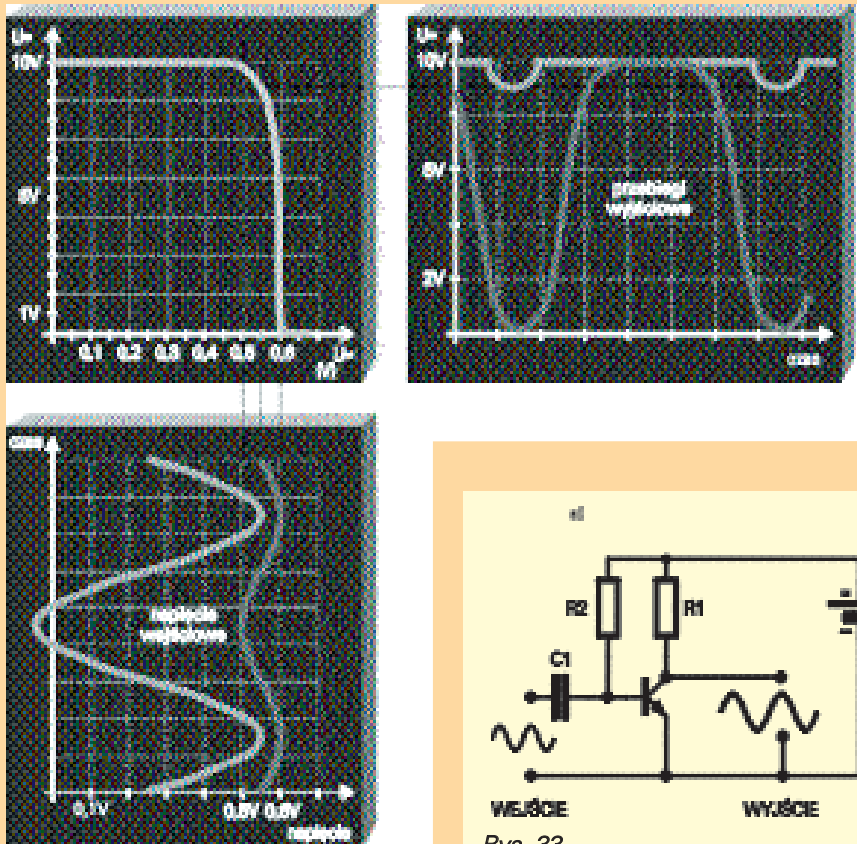
Poważną wadą obu układów z rysunku 33 jest również duża nieliniowość. bo charakterystyka przejściowa jest taka jak na rysunkach 32 i 33. Duża wartość wzmocnienia też niekoniecznie jest zaletą.

Jak widzisz rozwiązania z rysunku 33? nie są dobre. W stanie spoczynku punkt pracy zależy od temperatury i wzmocnienia prądowego  $\beta$  użytego egzemplarza tranzystora. To są wady wykluczające praktyczną przydatność takich schematów.

Dobrze zaprojektowany układ wzmacniający z tranzystorem przede wszystkim powinien mieć stabilne parametry, niezależnie od wzmocnienia prądowego tego tranzystora. Powinien być liniowy, czyli nie zniekształcać wzmacnianego sygnału. I wcale nie musi mieć bardzo dużego wzmocnienia, a współczynnik wzmocnienia napięciowego powinien być niezależny od wzmocnienia prądowego i powinien dać się regulować. I wszystko to chcemy osiągnąć stosując nasz kapryśny tranzystor o nieliniowej charakterystyce. Jak się okazuje, można to zrobić w bardzo prosty sposób. Opowiem ci o tym w najbliższej przyszłości.

Ciąg dalszy w kolejnym numerze EdW.

Rys. 32.



Rys. 33.

Piotr Górecki

$$P = I^2 \times R$$

gdzie P – moc strat czyli ciepło Joule'a (czytaj: dżula)

Jeśli próbowałbyś stukrotnie zwiększyć prąd I, również radykalnie zwiększysz straty mocy na rezystancji uzwojenia.

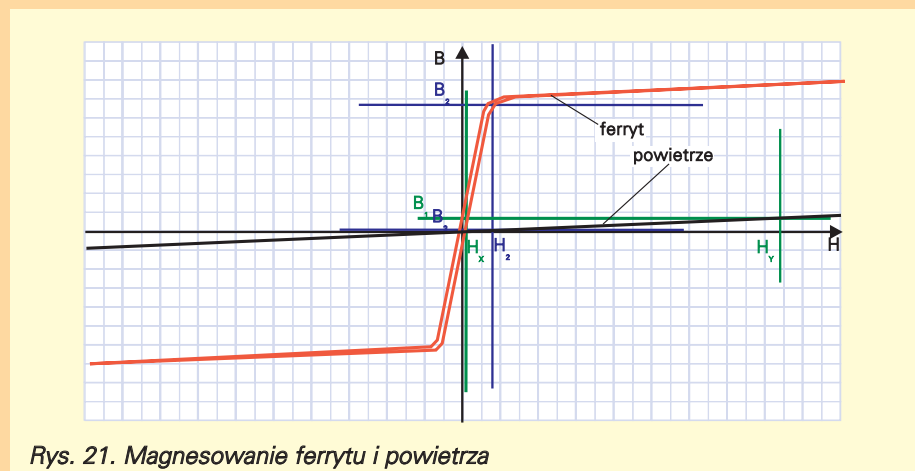
Mówiąc krótko (i może trochę upraszczając), to właśnie rezystancja uzwojenia cewki i straty mocy na tej rezystancji przekreślają celowość wyrzucenia ferrytowego rdzenia, i uniemożliwiają pełne wykorzystanie zalet „sztywnych sprężyn” powietrza.

W praktyce trzeba więc znaleźć rozsądny kompromis: z jednej strony warto zwiększać szczelinę, bo umożliwi to magazynowanie większej ilości energii, ale nie można przesadzić, bo nieodłącznie wiąże się to ze zmniejszeniem wypadkowej przenikalności rdzenia (i indukcyjności uzyskanej cewki). Z drugiej strony, by przy zwiększaniu szczeliny utrzymać założoną indukcyjność, trzeba zwiększać liczbę zwojów. Zwiększanie liczby zwojów w praktyce musi się wiązać ze zwiększaniem rezystancji tego uzwojenia, a tym

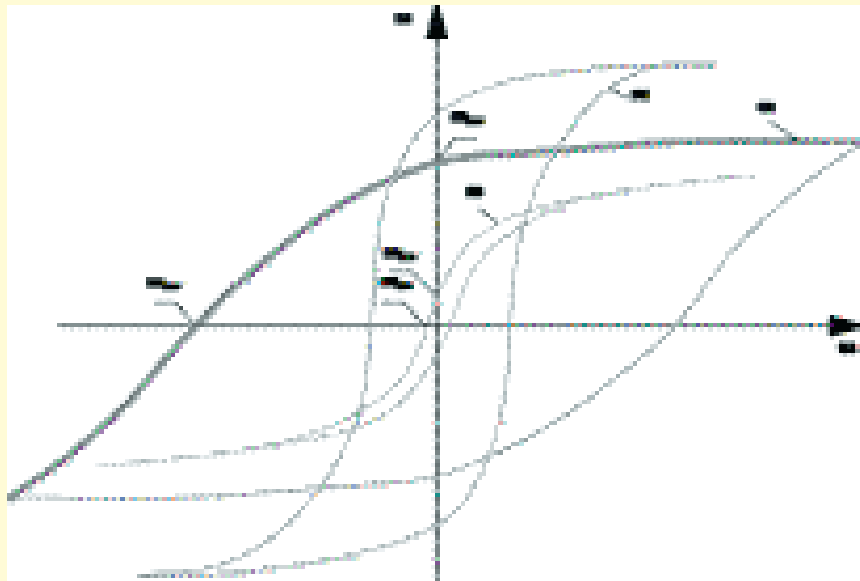
samym niepotrzebnymi stratami mocy w uzwojeniu (ciepło strat Joule a). Chyba to jest jasne? Jeśli nie jasne, to przeczytaj sobie ten ostatni fragment jeszcze raz.

Ale to nie koniec problemu szczeliny. Nie można tak ot sobie, dla kaprysu stosować szczeliny o dowolnej szerokości, bo szczelina radykalnie zmienia warunki pracy ferrytu. Temat do najprostszych nie należy, więc może przed lekturą następnego odcinka na wszelki wypadek tyknij szklankę zimnej wody.

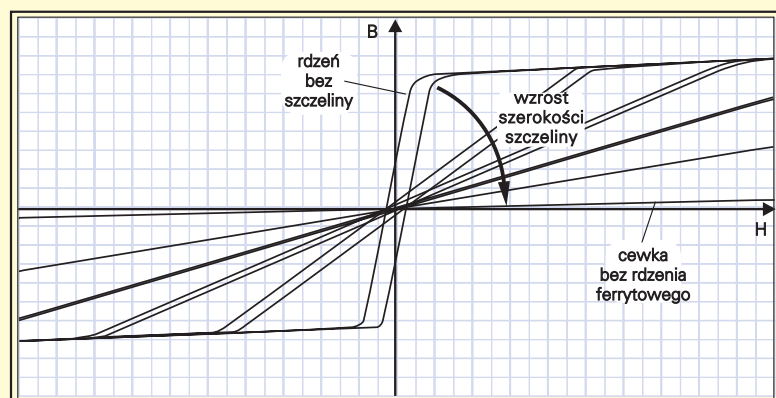
Piotr Górecki



Rys. 21. Magnesowanie ferrytu i powietrza



Rys. 17. Charakterystyki kilku materiałów magnetycznych



Rys. 22. Wpływ szczeliny na wypadkową charakterystykę rdzenia