



## Przetwornice impulsowe Potworki i straszydła

W ubiegłym miesiącu zapoznałeś się z bardzo ważnym pojęciem indukcji magnetycznej. Mam nadzieję, że już rozumiesz o co w tym chodzi.

Ale to jeszcze nie koniec schodów. Najgorsze jeszcze przed tobą. Dziś spróbujemy mocno złapać byka za rogi i chyba wreszcie zrozumiesz pojęcie **natężenia pola magnetycznego**. Pojęcie, które w dziedzinie magnetyzmu dla większości elektroników jest najtrudniejsze do zrozumienia.

Zaczynamy!

Przypomnę ci, że szukamy dobrego sposobu scharakteryzowania materiału magnetycznego, a nie konkretnego obwodu magnetycznego z danym rdzeniem i cewką. Jeśli potrafimy właściwie scharakteryzować materiał, to potem znając potrzebne parametry cewki dobierzemy wymiary rdzenia i zapewne potrafimy obliczyć wszystko, co będzie potrzebne do wykonania cewki o żądanych parametrach. A taka cewka będzie nam potrzebna do przetwornicy impulsowej (i nie tylko).

Zaczęliśmy od rysunku 13b (w EdW 2/98), gdzie właściwości rdzenia reprezentowane są przez nachylenie charakterystyki. Niestety nachylenie to zależy też

od kilku czynników (liczby zwojów  $z$ , długości  $l$  i przekroju  $S$ ). Pozbyliśmy się już zależności od pola  $S$ , wprowadzając pojęcie indukcji  $B$ , a teraz jeszcze musimy pozbyć się zależności od długości  $l$  i liczby zwojów  $z$ .

Proszę bardzo!

Uwzględniając wcześniejsze wzory otrzymujemy:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{I \times z \times \mu}{l} = \mu \times \frac{I \times z}{l}$$

Wypada zastanowić się nad wyrażeniem

$$I \times \frac{z}{l}$$

Wróć do rysunku 12b (EdW 1/98) i dobrze się zastanów – mamy napięcie magnetyczne:  $I \times z$ . To samo napięcie magnetyczne możemy uzyskać przy dużym prądzie  $I$  i małej liczbie zwojów  $z$ , albo też przy małym prądzie i dużej liczbie zwojów. Tak powstałe napięcie magnetyczne rozkłada się na długości rdzenia równej  $l$ . Nas nie obchodzi teraz jak uzyskamy to napięcie, chcielibyśmy to jakoś uogólnić...

A może przyjąć wielkość wyrażającą **napięcie magnetyczne przypadające na jednostkę długości rdzenia**? Chodziłoby o wielkość wyrażoną wzorem:

$$\frac{I \times z}{l}$$

Wielkość tę nazywa się **natężeniem pola magnetycznego** i oznacza się dużą literą  $H$ .

Jak łatwo zauważyć, jednostką natężenia pola magnetycznego jest amper na metr.

Ale po co nam taka wielkość? I jaki ma sens?

Wielu początkujących elektroników uważa, że taki twór jak natężenie pola magnetycznego, jest wzięty „z sufitu”, a na dodatek nie wiadomo po co.

Wcale tak nie jest! Pojęcie natężenia pola ma głęboki sens i w sumie wcale nie trudno to zrozumieć intuicyjnie. Myląca jest tylko nazwa: *natężenie*.

Nieprzypadkowo wprowadziłem analogie obwodów elektrycznego i magnetycznego.

Popatrz jeszcze raz na rysunki 12a i 12b (w EdW 1/ 98). Na rysunku 12a całkowite napięcie elektryczne  $U$  rozkłada się na długości przewodnika równej  $l$ . Czy możemy określić wartość napięcia przypadającego na jednostkę długości przewodnika? Oczywiście! Nic nie stoi na przeszkodzie! Przykładowo jeśli nasz pręt miałby 2 metry długości, a całkowite napięcie  $U$  wynosiłoby, powiedzmy 4 wolt, to na metr długości pręta przypadałoby 2 wolt. Beznadziejnie proste i oczywiste!

Otrzymaliśmy jakąś wielkość wyrażoną w jednostkach napięcia na jednostkę długości, czyli w woltach na metr. Jeśli byśmy teraz oznaczyli tę wielkość na przykład literą  $G$ , to

$$G = \frac{U}{l}$$

A ponieważ  $U = z \times U_1$ , więc

$$G = \frac{z \times U_1}{l}$$

Jeśli dla tego pręta na metr długości przypada 2 wolt, to przykładowo na 0,2 metra przypada

$$U = 2 \frac{V}{m} \times 0,2m = 0,4V$$



Czyli znając wartość  $G$  i długość odcinka przewodu, moglibyśmy obliczyć napięcie na tym odcinku

$$U = G \times I \times z$$

I co? Czy już widzisz podobieństwo?

Wymyślona przez nas wielkość  $G$ , odpowiadająca w obwodzie magnetycznym poznanemu właśnie natężeniu pola  $H$ ! I co ciekawe, pozbyliśmy się zależności od  $I$  i od  $z$ !

A więc zarówno pojęcie natężenia pola  $H$  w obwodzie magnetycznym, jak i wielkości  $G$  w obwodzie elektrycznym mają głęboki sens, tylko ty do tej pory zupełnie się nad tym nie zastanawiałeś i nie wykorzystywałeś. W obwodach elektrycznych nie używa się takiego parametru jak  $G$ , więc teraz nie chce ci wejść do głowy pojęcie natężenia pola  $H$ .

## Jeszcze raz natężenie pola magnetycznego

Cóż, widzę że nadal masz kłopoty z przyswojeniem sobie sensu tego nowego pojęcia.

Spróbujmy jeszcze raz.

W poprzednich odcinkach poznałeś łatwe do intuicyjnego przyswojenia pojęcie napięcia magnetycznego  $SMM$ . Goto- wy byłeś nawet przełamać się wewnętrznie i zaakceptować, że chodzi tu o iloczyn  $I \times z$ , którego jednostką jest, o zgrozo – amper. Wiesz, że pod wpływem tego napięcia magnetycznego, w rdzeniu cewki zaczyna płynąć prąd magnetyczny (właściwie strumień magnetyczny  $\Phi$ ). Ten prąd magnetyczny to właściwie żaden prąd, tylko jakieś tam „linie pola magnetycznego”. Tłumaczyłem ci, że wielkością częściej spotykaną w praktyce, bo uwzględniającą pole przekroju, jest gęstość (ilość linii pola magnetycznego przypadająca na jednostkę powierzchni przekroju poprzecznego), czyli indukcja magnetyczna  $B$ . Przyjąłeś do wiadomości, że dla materiału magnetycznego istnieje pewna maksymalna gęstość tych linii – jest to tak zwana indukcja nasycenia.

Wykazałeś tym samym bardzo dużo dobrej woli. Ale teraz stajesz okoniem gdy próbuję ci wcisnąć do głowy dziwaczne pojęcie natężenia pola  $H$  (które w rzeczywistości okazało się napięciem) – takiego dziwoląga nie bardzo możesz strawić.

Wcale ci się nie dziwię!

Zazwyczaj w obwodach elektrycznych obliczenia przeprowadzamy innymi sposobami, używając innych wzorów. Taka wielkość, jak wcześniej wprowadzone napięcie elektryczne przypadające na jednostkę długości (które oznaczyliśmy  $G$ ) nie jest nam potrzebna, i nie wykorzystujemy jej w praktyce. Nie ma też dla niej

specjalnej nazwy (literkę  $G$  wziąłem z tak zwanego sufitu). Ale niewątpliwie taka wielkość ma sens fizyczny.

Chyba nie masz kłopotów ze zrozumieniem sensu wielkości  $G$ ?

Dokładnie tak samo wygląda sytuacja w obwodzie magnetycznym z rysunku 12b.

Jak więc rozumieć sens natężenia pola magnetycznego ( $H$ )?

Oczywiście jako wartość napięcia magnetycznego przypadającą na jednostkę długości rdzenia!

$$H = \frac{SMM}{l} = \frac{I \times z}{l}$$

Czym dłuższy rdzeń (dłuższa droga magnetyczna  $l$ ), tym mniejsze natężenie pola magnetycznego (przy tym samym prądzie  $I$  i liczbie zwojów  $z$ )

Zauważ, że w wielkości  $H$  zawarte są wszystkie czynniki wymuszające: ilość zwojów, natężenie prądu i długość drogi magnetycznej. Takie uogólnienie to wielki krok w dobrym kierunku. Znając wartość prądu  $I$ , liczbę zwojów  $z$  oraz długość drogi magnetycznej rdzenia, bez trudu obliczysz natężenie pola  $H$ . I na odwrót: znając dopuszczalną wartość  $H$ , wartość prądu  $I$ , przy którym cewka ma pracować oraz zakładając jakąś długość rdzenia  $l$ , możesz obliczyć potrzebną liczbę zwojów  $z$ . Jasne?

Idziemy dalej

Wcześniej doszliśmy do zależności

$$B = \frac{I \times z \times \mu}{l}$$

Teraz możemy zapisać:

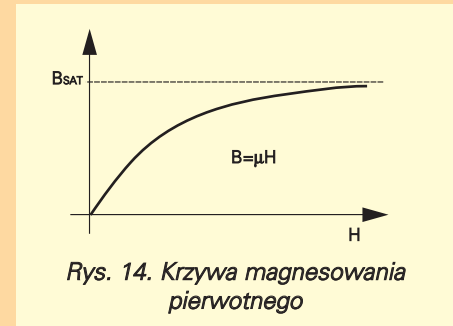
$$B = \mu \times H$$

Ten wzór na pewno już gdzieś widać. Jaki jest jego sens?

Najkrócej mówiąc, **charakteryzuje on** nie tyle konkretny przypadek, związany z jakąś cewką i rdzeniem o danych wymiarach, ale **materiał magnetyczny w ogólności**.

Jeszcze raz zwracam ci uwagę, że w wielkości  $H$  zawarte są czynniki wymuszające (głównie chodzi o prąd  $I$ ), a w wielkości  $B$  czynniki wymuszone (głównie strumień  $\Phi$ ).

Jak się słusznie spodziewasz, charakterystyka magnesowania materiału, czyli zależność  $B$  od  $H$ , pokazana na **rysunku 14** będzie przebiegać podobnie, jak na wcześniejszym rysunku 13b (w EdW 2/98), przy czym nowy wykres doty-

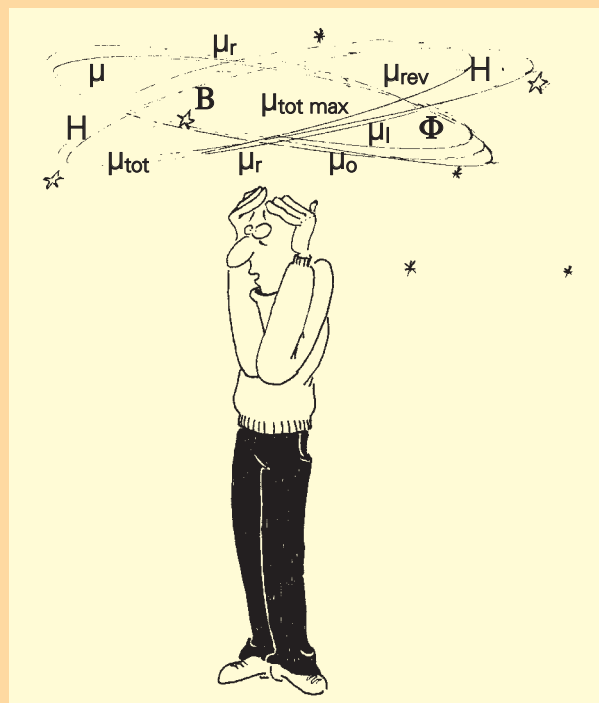


Rys. 14. Krzywa magnesowania pierwotnego

czy materiału w ogólności, a nie konkretnej cewki z rdzeniem.

Mam nadzieję, że to wreszcie do końca zrozumiałeś. Natężenie pola magnetycznego  $H$ , to nie jakaś arcyważna wielkość, ale dzięki wprowadzeniu tego (tylko na pierwszy rzut oka) dziwoląga, potrafimy wreszcie scharakteryzować na wykresie materiał magnetyczny (a nie tylko konkretny rdzeń z daną cewką). Chyba już teraz nie będzie ci przeszkadzać mieszanka firmowa wszystkich pojęć, nazw i określeń stosowanych do opisu obwodów magnetycznych. Szczerze mówiąc, nie dziwię się, że ta mieszanka doprowadza wielu do bólu głowy. Wszyscy rozumiemy i wyczuwamy intuicyjnie pojęcia, wielkości i zależności stosowane do opisu obwodów elektrycznych. Napięcie kojarzy się nam nierozłącznie z ciśnieniem, albo napięciem czegoś. Natężenie nierozłącznie kojarzy się z przepływem elektronów (lub wody). Wszystko to stanowi spójną i logiczną całość, łatwą do intuicyjnego pojęcia.

Ale gdy zaczynamy wglębiać się w odmęty magnetyzmu, pojawia się zawrót głowy. Mówią nam, że natężenie pola magnetycznego to w rzeczywistości napięcie (!) magnetyczne przypadające na jednostkę długości rdzenia... A wymia-



## Listy od Piotra

rem jest amper na metr... Jak napięcie to napięcie, a jak natężenie, to natężenie. Czy aby ktoś tu nie zwariował?

Z tym zwariowaniem to może trochę przesada. Ale rzeczywiście wiele kłopotów ze zrozumieniem zjawisk w obwodach magnetycznych wynika z terminologii, czyli nazewnictwa. Stosowane polskie nazwy są bardzo mylące.

W większości języków używa się określenia indukcja magnetyczna ( $B$ ). Ale na przykład w niektórych angielskojęzycznych katalogach zamiast *induction*, pisze się *flux density*, czyli gęstość strumienia.

O, to by nam pasowało! Gęstość strumienia to pojęcie łatwe do intuicyjnego przyswojenia i jak ułał pasujące do naszego wyobrażenia strumienia jako „linii pola”. Niestety, w języku polskim póki co nie ma podobnego zwyczaju – w użyciu jest jedynie straszące nowicjuszy słowo indukcja.

Z natężeniem pola magnetycznego  $H$  sprawa jest trudniejsza. Słowo natężenie kojarzy się nam z prądem. Ale jak już wiesz, chodzi tu w sumie nie o prąd magnetyczny, tylko o napięcie magnetyczne (przypadające na jednostkę długości). Czy nie lepiej byłoby zmienić polską nazwę tej wielkości fizycznej?

Może i tak byłoby lepiej, ale stare określenie jest mocno zakorzenione i raczej nie ma szans na zmianę. Szczerze mówiąc, nie przychodzi mi do głowy żadna sensowna nazwa (chyba, że ty masz dobry pomysł na taką nazwę – jeśli tak, napisz do mnie koniecznie). Niestety, zamiast przeprowadzać rewolucję w terminologii, musimy po prostu zrozumieć i zaakceptować stosowane od dawna terminy, w tym owo nieszczęsne natężenie pola magnetycznego.

Jeśli nadal masz kłopoty ze zrozumieniem, o co chodzi w tym magnetyzmie i co dzieje się w rdzeniu, zacznij od początku i powróć do poprzednich artykułów! Musisz najpierw zaakceptować pojęcie napięcia i prądu magnetycznego, a dopiero potem przejść do indukcji i natężenia pola magnetycznego. A gdyby ci się mimo wszystko nie udało wszystkiego zrozumieć, nie załamuj się. Pocziesz cię.

Ta cała teoria, którą ci tłumaczę, ma tylko wyjaśnić zasady i przyczyny. W większości przypadków nie będzie ci ona niezbędna do praktycznych obliczeń. Właśnie! Nie trać z oczu celu: ty masz zaprojektować cewkę do konkretnego zastosowania. Ale póki co, tyknij kolejną porcję teorii, żebyś potem wiedział co robisz, a nie działał po omacku.

Jeśli z sukcesem przebrnąłeś przez poprzednie odcinki, to zapewne przypuszczasz, że mając w katalogu charakterystykę magnesowania materiału, po-

trafisz dobrać odpowiedni rdzeń i obliczyć ilość zwojów cewki o żądanych parametrach.

Niby tak, ale to niestety jeszcze nie koniec schodów.

Przecież charakteryzując materiał, nie uwzględniliśmy jeszcze czegoś, co w modelu z magnesikami było reprezentowane przez tarcie. Po odchyleniu sprężynki, wskutek tarcia nasz magnesik nie wracał do położenia wyjściowego. Inaczej mówiąc, po zaniku czynnika wymuszającego (prądu w cewce) materiał powinien pozostać częściowo namagnesowany. Czyli po zaniku napięcia magnetycznego, prąd magnetyczny (strumień) w rdzeniu... nie powinien spaść do zera!?

Chyba znów dostaniesz bólu głowy!

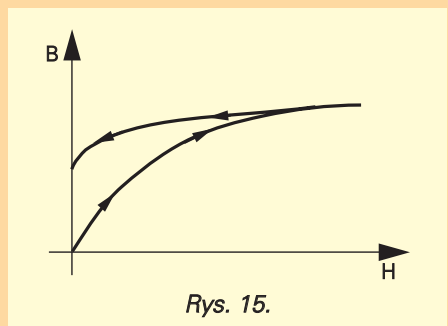
Zastanów się: niczego podobnego nie zaobserwowaliśmy w obwodach elektrycznych. Jeśli do rezystora przyłożone jest napięcie, to płynie przez niego prąd. Jeśli napięcie zaniknie, prąd maleje do zera. Dotyczy to także elementów nieliniowych, na przykład żarówki (lub znanego najstarszym Czytelnikom baretera), dla której zależność między napięciem a prądem, wygląda trochę podobnie, jak na rysunku 13b.

W obwodzie magnetycznym z rdzeniem ferromagnetycznym jest inaczej – jest to kolejna nowość, którą musisz jakoś upchnąć sobie pod sufitem. **Po zaniku czynnika wymuszającego** (prądu elektrycznego w cewce) strumień w rdzeniu (a tym samym indukcja  $B$ ) **nie zanika całkowicie**, ale ma jakąś niezerową wartość.

To rzeczywiście nowość.

A jak to zaznaczyć na wykresie? Wykres zależności  $B$  od  $H$  przy magnesowaniu materiału od stanu, powiedzmy spoczynkowego i po zaniku czynnika wymuszającego będzie wyglądał tak jak na **rysunku 15**. Strzałkami zaznaczyłem, jak będzie przebiegać magnesowanie. Mam nadzieję, że to rozumiesz (kłania się tarcie magnesików, które nie wracają do położenia spoczynkowego)? Po wzroście i zaniku natężenia pola  $H$  z powrotem do zera, indukcja  $B$  (a tym samym strumień) nie zmniejszają się do zera.

Krótko mówiąc, po jednokrotnym namagnesowaniu, materiał rdzenia stał się... magnesem trwałym! Wcześniej



Rys. 15.

może już o tym wiedziałeś, teraz masz to na charakterystyce materiału magnetycznego.

Tak jest! Możesz to sprawdzić w szkolnym laboratorium, albo nawet w domu!

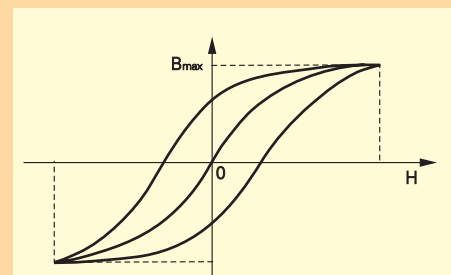
Idziemy dalej.

Wcześniej celowo przypominałem ci, że nasze rozważania dotyczą prądu stałego, płynącego w jednym kierunku. Nie chciałem mącić ci klarownego obrazu linii pola magnetycznego jakimiś tam kierunkami. Ale teraz, gdy poznałeś pojęcia natężenia pola  $H$  i indukcji  $B$ , musimy o tym wspomnieć.

Zależnie od kierunku prądu w cewce, zmienia się także, jeśli można tak powiedzieć – kierunek, czy też znak natężenia pola oraz indukcji magnetycznej. Uczyli cię (lub będą uczyć), iż są to wielkości wektorowe, a nie skalarnie. Śmiało możemy mówić o kierunku, czy też znaku.

Zobaczmy więc, jak zmienia się indukcja  $B$  przy natężeniu  $H$  „o przeciwnym kierunku”.

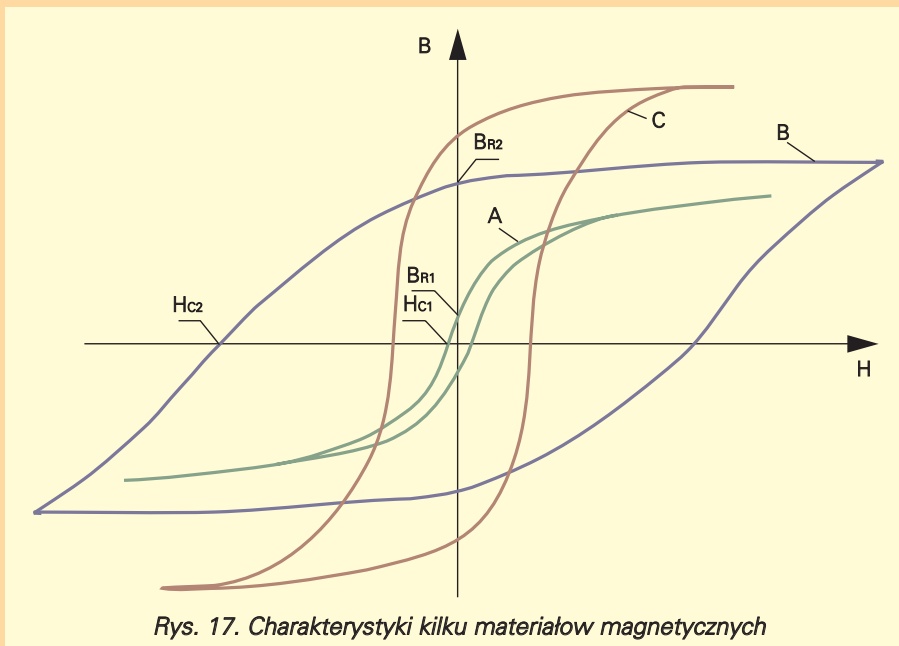
Na **rysunku 16** możesz zobaczyć przebieg charakterystyk magnesowania w sytuacji, gdy prąd  $I$  płynie najpierw w jedną stronę (a natężenie  $H$  wzrasta od zera do wartości  $H_{max}$ , potem maleje do zera), a następnie prąd zmienia kierunek i natężenie  $H$  zmienia się od zera do  $H_{max}$  a potem znów spada do zera. Jak widzisz, w zależności od kierunku zmian, charakterystyka jakby się rozdwaja – mówimy, że występuje tu pętla histerezy.



Rys. 16. Charakterystyka magnesowania pewnego materiału magnetycznego

Taką charakterystykę na pewno już gdzieś widziałeś.

Krzywą z rysunku 14 nazywamy krzywą magnesowania pierwotnego. Po jednokrotnym namagnesowaniu punkt pracy wędruje po pętli histerezy, a nie po krzywej magnesowania pierwotnego. Nie znaczy to, że namagnesowanego materiału nie można rozmagnesować „do zera” i znów zacząć od początku. Rozmagnesowanie jest stosunkowo łatwe – nie wystarczy wprowadzić po prostu przepływ prądu w uzwojeniu cewki, ale wystarczy podać na cewkę przebieg sinusoidalny, o stopniowo malejącej am-



Rys. 17. Charakterystyki kilku materiałów magnetycznych

plitudzie – wtedy kolejne „pętle” będą coraz mniejsze i w końcu materiał zostanie całkowicie rozmagnesowany.

Jeszcze raz przypominam ci, że na podanych rysunkach nadal w pewnym sensie mamy pokazaną zależność strumienia  $\Phi$  od przepływającego prądu elektrycznego  $I$  (porównaj rysunek 10 w EdW 1/98 oraz 13b w EdW 2/98). Ale na osi poziomej mamy jednak natężenie pola  $H$ , a nie prąd, bo w ten sposób uwzględniamy liczbę zwojów cewki i długość drogi magnetycznej. Tak samo na osi pionowej mamy indukcję  $B$ , która informuje o strumieniu, a dodatkowo uwzględnia przekrój rdzenia.

Co z tego wszystkiego powinieneś koniecznie zapamiętać, bo może niektóre sprawy okażą się dla ciebie zbyt trudne?

Na pewno musisz zapamiętać, że nadmierne zwiększanie natężenia pola  $H$  (przez zwiększanie prądu), nie powoduje proporcjonalnego zwiększania indukcji  $B$  (i interesującego nas strumienia). Mamy tu do czynienia z graniczną wartością – indukcją nasycenia. Zaznaczyłem ci to na rysunku 14.

Dla blach żelazokrzemowych, używanych na rdzenie transformatorów (popularne kształtki EI) indukcja nasycenia wynosi do 2 tesli, a dla blach żelazoniklowych (rdzenie zwijane) około 2,5 tesli. Dla ferrytów indukcja nasycenia jest znacznie mniejsza i wynosi nie więcej niż 0,5 tesli. Wcale nie musisz pamiętać, co to jest tesla – wystarczy, że zapamiętasz, iż blacha żelazokrzemowa czy żelazoniklowa ma znacznie lepsze właściwości od ferrytów, ale niestety, jak ci już mówiłem – tylko przy małych częstotliwościach. **Rysunek 17** pokazuje przykładowe charakterystyki magnesowania różnych materiałów.

Spróbuj mi jeszcze samodzielnie odpowiedzieć na pytanie: czym w praktyce będą się różnić materiały o charakterystykach pokazanych na rysunku 17? Charakterystyka materiału A stanowi wąską pętlę (mówimy, że histereza jest mała), natomiast charakterystyka materiału B to pętla bardzo szeroka. Jeśli materiał A namagnesujemy, zwiększając natężenie  $H$ , a potem zmniejszając je go zera, to materiał pozostanie namagnesowany w niewielkim stopniu – pokazuje to punkt  $B_{R1}$ . Tak zwana pozo-

W przypadku drugiego materiału (krzywa B), po wzroście i zaniku natężenia pola, materiał pozostanie silnie namagnesowany (indukcja szczątkowa wbrew nazwie ma znaczną wartość  $B_{R2}$ )... a więc mamy tu do czynienia z magnesem stałym (trwałym). Żeby rozmagnesować taki materiał, trzeba podać duże natężenie powściąągające o wartości pokazywanej przez punkt  $H_{C2}$ . Materiał jest magnetycznie twardy.

Może ci się wydaje, że taki magnetycznie twardy materiał będzie lepszy na rdzenie cewek. Nie! Mogłeś się już sam domyślić, że szeroka pętla histerezy reprezentuje duże „tarcie elementarnych magnesików”. A jeśli tarcie, to i straty w postaci ciepła – mówiliśmy już o tym wcześniej. Materiały magnetycznie twarde nadają się dobrze na magnesy trwałe, ale nie na rdzenie cewek – tam podczas każdego cyklu magnesowania/rozmagnesowania wydzielalaby się niepotrzebne duża moc strat – tak zwanych strat z histerezy. Na rdzenie cewek używamy materiałów o jak najwęższej pętli histerezy. Również o tym mówiliśmy wcześniej – teraz masz to czarno na białym na wykresie.

## Kłopoty z $\mu$

Wcześniej wspólnie doszliśmy do wniosku, że nachylenie charakterystyki pokazuje wartość przenikalności  $\mu$  – czym bardziej stroma krzywa, tym większa przenikalność.



stałość magnetyczna, oznaczana  $B_R$  (zwana też indukcją szczątkową lub magnetyzmem szczątkowym lub remanencją) jest niewielka. Żeby całkowicie rozmagnesować ten materiał, trzeba poddać rdzeń działaniu natężenia pola o przeciwnym kierunku i wartości takiej, jaką pokazuje punkt  $H_{C1}$ . Jest to tak zwane natężenie powściąągające, zwane również koercją. Pętla histerezy jest tu wąska, natężenie powściąągające małe – materiały o podobnych charakterystykach nazywamy materiałami magnetycznie miękkimi.

Zastanówmy się wspólnie, co możesz powiedzieć o wartości  $\mu$ ? Już na podstawie rysunku 14 mogłeś powiedzieć, iż wartość przenikalności  $\mu$  zmniejsza się przy zwiększaniu natężenia  $H$ . To oczywiste, właśnie to jest powodem zmniejszania się indukcji cewki przy nadmiernym zwiększeniu prądu.

Na **rysunku 18** możesz zobaczyć charakterystykę magnesowania materiału magnetycznego, pochodzącą z katalogu (firmy Siemens).

Rysunek 18 pokazuje, że sprawa z wartością  $\mu$  wygląda jeszcze gorzej. Za-



czynasz się domyślać, że pokrzywiona charakterystyka, zmienna wartość  $\mu$  oznacza w praktyce ni mniej ni więcej, tylko pojawienie się w sygnałach zniekształceń. Tak jest! Zależność indukcji od natężenia pola nie jest liniowa. W poprzednich odcinkach analizowaliśmy, co się dzieje w rdzeniu przy prądzie stałym.

Przed chwilą prześledziliśmy sytuację przy prądzie przemiennym.

Zauważ, że jeśli nachylenie charakterystyki jest zależne od natężenia pola, to moglibyśmy powiedzieć, iż zależy od chwilowego punktu pracy. Co to znaczy punktu pracy?

Wyobraź sobie, że przez cewkę przepuszczasz prąd stały z nałożoną niewielką składową zmienną. Tak przecież czasem zdarza się w praktyce. A może rdzeń został wcześniej namagnesowany?

I co wtedy z naszym kochanym  $\mu$ ?

Patrz na rysunek 18. Przy bardzo małych wartościach natężenia pola, średnia przenikalność wynosi mniej więcej  $\mu_1$ . Dla pracy przy większych natężeniach, ale bez wchodzenia w nasycenie, maksymalna przenikalność jest znacznie większa i wynosi  $\mu_{tot\ max}$ . Jeśliby jednak twoja cewka pracowała przy małych zmianach natężenia  $H$ , ale po wcześniejszym silnym namagnesowaniu rdzenia, przenikalność wyniesie  $\mu_{rev}$ .

To w końcu, do licha, jaką przenikalność ma twój rdzeń? O kochany, to wszystko zależy, od warunków pracy!

W katalogach spotkasz między innymi właśnie  $\mu_1$ ,  $\mu_{tot\ max}$  i  $\mu_{rev}$ . Którą wartość wziąć do wzoru

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

A widzisz, tylko ci się wydawało, że znając ten wzór i mając wymiary rdzenia poradzisz sobie z obliczeniem indukcyjności.

A może słyszałeś kiedyś o wzmacniaczach magnetycznych, wzmacniaczach bez lamp elektronowych i tranzystorów. Teraz, gdy poznałeś kaprysy przenikalności  $\mu$ , sam sobie możesz z grubsza wyobrazić, na jakiej zasadzie działa taki wzmacniacz. Podobnie wygląda sprawa z magnetycznymi stabilizatorami napięcia, jakie przed laty można było spotkać w aparaturze przemysłowej.

Teraz chyba pomału rozumiesz, że to właśnie ze względu na kaprysy przenikalności  $\mu$ , w praktyce nie korzystamy z tych prostych, książkowych wzorów. Właśnie, wszystko zależy od warunków pracy materiału magnetycznego.

Na szczęście rzeczywistość nie wygląda aż tak czarno, jak może ci się teraz wydawać.

Zniekształcenia można radykalnie zmniejszyć dzięki obecności szczeliny powietrznej (do tego jeszcze wrócimy), i wtedy indukcyjność cewek pracujących przy małych sygnałach obliczamy w bardzo prosty sposób. Producenci rdzeni podają dla swoich wyrobów stałą zwaną  $A_L$  (dotyczy to zwłaszcza rdzeni kubkowych oraz rdzeni rodziny RM, stosowanych zwłaszcza na cewki do filtrów, itp.). Mając wartość  $A_L$  (lub  $AL$ ), a znając ją można nadrukowaną na każdym takim rdzeniu, indukcyjność oblicza się ze wzoru.

$$L = z^2 \times A_L$$

$A_L$  podaje się w nanohenrach (nH) i wynik też wychodzi w nanohenrach.

W praktyce obliczamy nie indukcyjność, tylko liczbę zwojów potrzebną do uzyskania danej indukcyjności:

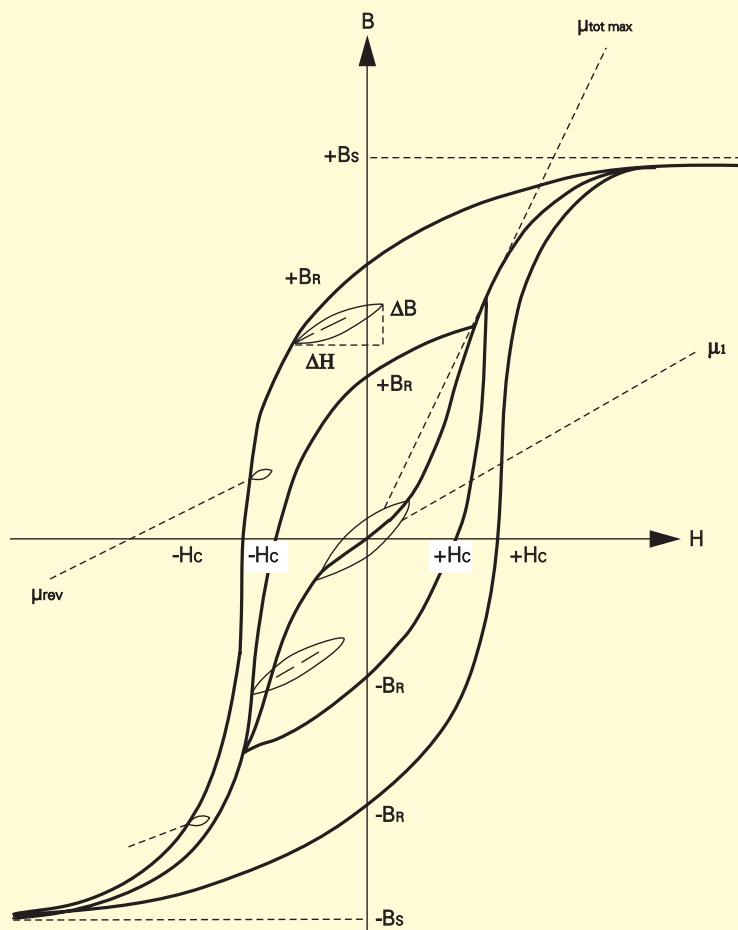
$$z = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

Znając liczbę zwojów obliczamy lub odnajdujemy w tabeli grubość drutu, która pozwoli zmieścić uzwojenie na karkasie. Potem jeszcze możemy obliczyć rezystancję i z grubsza oszacować dobroć cewki.

I to wszystko. Proste prawda?

Niby tak, ale to jeszcze nie koniec męczarni na drodze do cewek nadających się do przetwornic. Tam trzeba uwzględnić szereg dalszych czynników. Zajmiemy się tym za miesiąc.

Piotr Górecki



Rys. 18. Krzywa magnesowania przy różnych wystawieniach

