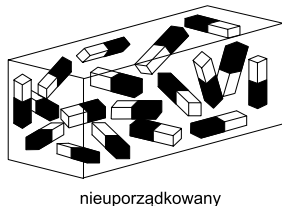


# Indukcyjności – to nie takie straszne, część 1

*Chyba każdy elektronik – praktyk, próbujący za pomocą lutownicy i garści drobniaków wskrzesić do życia jakieś nowe urządzenie, stanął kiedyś przed barierą nie do pokonania – na schemacie znalazł się jakiś wrogi element – ELEMENT INDUKCYJNY!*

Prawdopodobnie kiedyś każdy z nas na widok indukcyjności na schemacie zareagował w ten sam sposób – nie, nie będę tego robił, bo skąd mam wziąć te dziwne części, a jakie w ogóle one mają one być.

Reakcja jak najbardziej naturalna, bo przecież w szkołach nie za wiele uczą na ten temat, a literatura dostępna w języku polskim jest dość uboga, albo zbyt teoretyczna. No jest oczywiście Internet, ale



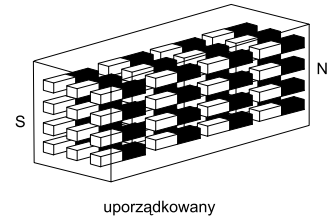
Rys. 1.

wszędzie piszą coś innego i komu tu wierzyć.

Postanowiliśmy więc, naszym Czytelnikom, w kilku kolejnych odsłonach nieco przybliżyć temat tabu – indukcyjności. W pierwszym odcinku zamieścimy trochę informacji o materiałach magnetycznych, a w kolejnych o poszczególnych grupach elementów indukcyjnych i ich zastosowaniach w konkretnych aplikacjach.

Wbrew pozorom indukcyjność nie jest to jakaś Czarna Magia, ale zwykłe zjawisko fizyczne, które można w jakiś sposób zaobserwować, a czasami nawet zmierzyć, by następnie dopasować teorię, która próbuje te zjawiska opisać i w logiczny sposób uporządkować.

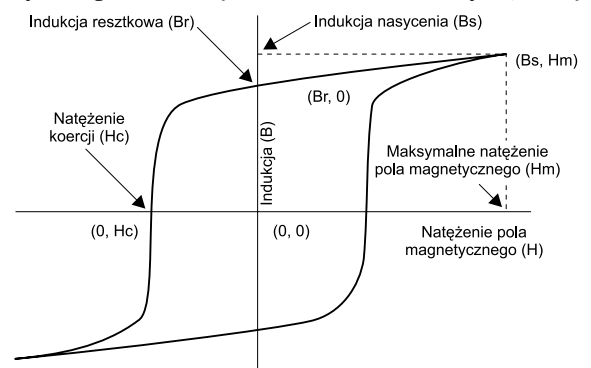
Jak wszyscy wiemy, śrubokręt można namagnesować, żeby mógł przyciągać śrubki (łatwiej się wkręca), no ale co to znaczy „namagnesować”? A więc namagnesować, to nic innego jak uporządkować poszczególne drobiny materiału tak, aby wszystkie wskazywały w przestrzeni ten sam kierunek. Drobiny te nazywamy domenami magnetycznymi. Można powiedzieć, że są to miniaturowe magnesyki porzrzucone beładnie



Rys. 2.

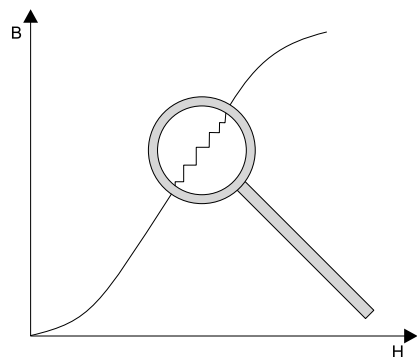
w całej objętości materiału magnetycznego (rys. 1).

Skąd się biorą te magnesyki? Otóż gdy elektrony krążą wokół jądra, i to w dodatku we miarę uporządkowany sposób, to swym ruchem obrotowym powodują powstanie miniaturowego pola magnetycznego. Każda z takich domen porzrzuconych chaotycznie w objętości materiału powoduje, że na zewnątrz materiał taki wydaje się



Rys. 3.

| Zastosowanie   | Rodzaj materiału |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | -2               | -8 | -14 | -18 | -26 | -30 | -34 | -35 | -38 | -40 | -45 | -52 |
| Regulatory oświetlenia                               |                  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 50 Hz dławiki zakłóceń asymetrycznych w filtrach EMI |                  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| dławiki DC: <50 kHz                                  |                  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| dławiki DC: ≥ 50 kHz                                 |                  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| układy korekcji współczynnika mocy: <50 kHz          |                  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| układy korekcji współczynnika mocy: ≥ 50 kHz         |                  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| układy rezonansowe: ≥ 50 kHz                         |                  |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |



Rys. 4.

magnetycznie obojętny, wystarczy jednak przyłożyć nieco zewnętrznej energii, aby domeny te uporządkować. Jeżeli takie miniaturowe magnesiki zostaną uporządkowane, to mówimy o saturacji, czyli po prostu o nasyceniu (rys. 2).

Jeżeli teraz po zniknięciu zewnętrznej energii, materiał magnetyczny nadal pozostaje uporządkowany, to mamy do czynienia z materiałem magnetycznym twardym – takimi nie będziemy się zajmować. Natomiast, jeżeli po zniknięciu zewnętrznej siły materiał będzie się starał powrócić do swego pierwotnego stanu, to stanie się on dla nas jak najbardziej interesujący, bo jest to materiał magnetyczny miękki. Materiały takie są najczęściej wykorzystywane w elektronice do budowy elementów indukcyjnych. Podstawowym ich zadaniem jest gromadzenie pewnej porcji energii, a następnie jej oddawanie, w takiej bądź innej postaci. Zjawiska panujące w materiale magnetycznym w najprostszy sposób można przedstawić za pomocą magnetycznej pętli histerezy (rys. 3). Określa ona zależności pomiędzy gęstością strumienia indukcji B, a natężeniem pola magnetycznego H. Jeżeli dokładnie spojrzymy naszymi bystrymi oczkami na taki wykres, to stwierdzimy, że jest on zbudowany ze „schodków”... O ciekawostka! Ale tak naprawdę jest. Jest to związane ze stopniowym porządkowaniem się domen (rys. 4).

Nie tylko „schodki” powinny przykuć naszą uwagę, pojawiają się również zaokrąglenia wykresu świadczące o nieliniowym charakterze elementu. Akurat ta własność jest związana ze zdolnością gromadzenia pola magnetycznego przez ferromagnetyki, zdolność ta jest większa przy małych wartościach

Tab. 2. Materiały przystosowane do wysokich częstotliwości pracy (Ni-Zn)

| Przenikalność początkowa | 13     | 25     | 80           | 125       | 300                 | 900                  | 2000         |
|--------------------------|--------|--------|--------------|-----------|---------------------|----------------------|--------------|
| ISKRA FERRITI            | 2E     | 1E     | 1F           | 3F        | 2C                  | 1C                   | 4C           |
| EPCOS                    | U17    | K12    | K1           | K1        | M11                 | K10, 400             | N4           |
| FERROXCUBE               | 4E1    | 4E2    | 4D2, 4F1     | 4C6, 4C65 | 4B1, 4B2, 4B3       | 4A11, 4A15, 4S2      | 4A15         |
| VOGT                     | Fi110  | Fi130  | Fi150, Fi221 | Fi212     | F221, Fi242, Fi222i | Fi292                |              |
| NEOSID/MMG               | F29    | F28    | F25          | F01, F16  | F14, F302           | F19, F52             | F11          |
| LCC THOMSON              | H6, K6 | H5, K5 | H3, K3       | H3, K3    | H2                  | H1, C1               |              |
| KASCHKE                  | K14    | K40    | K80          | K80, K120 | K250, K300          | K800, K900           | K1500, K2000 |
| TRIDELTA                 |        | Mf321  | Mf340        | Mf343     | Mf251               | Mf260                |              |
| SAGEM                    |        |        | 602          | 602       |                     | 701                  |              |
| PRAMET                   |        |        |              |           | N3                  | N7, H5R              |              |
| POLFER                   | U-11   | U-31   | F-82         |           | F-201, F-302        |                      |              |
| EM-VAC                   |        |        |              |           |                     | NF10                 |              |
| TDK                      | K8     | K7A    | K6A          |           | K5                  |                      |              |
| FDK – FUJI               | H56Z   | H55Z   | H54Z         | H53Z      | H52Z                |                      |              |
| TOKIN                    | 10L    |        |              |           | 250L                | 700L                 |              |
| CERAMIC/MAGNETICS        | N40    | C2075  | C2050        | C2025     | CMD10               | CN20                 | CMD5005      |
| NEOSID                   |        | F40    | F106         |           | F2                  |                      |              |
| FAIR RITE                | 68     | 67     | 65           | 61        | 64, 83              | 43                   |              |
| STEWARD                  | 21     |        | 22           | 23        |                     | 26, 28               |              |
| COSMOFERRITES            |        |        |              |           | CF102M              |                      |              |
| FERRIT                   |        | 30BH   | 150BH        | 100NH     | 300BHC              | 900HM, 600NN, 900HKC |              |
| BALFORD/EEL              |        | K8     | K8           | K10       | K4                  |                      |              |
| FERRONICS                |        | P      |              | K         |                     | J                    | G            |

natężenia pola H.

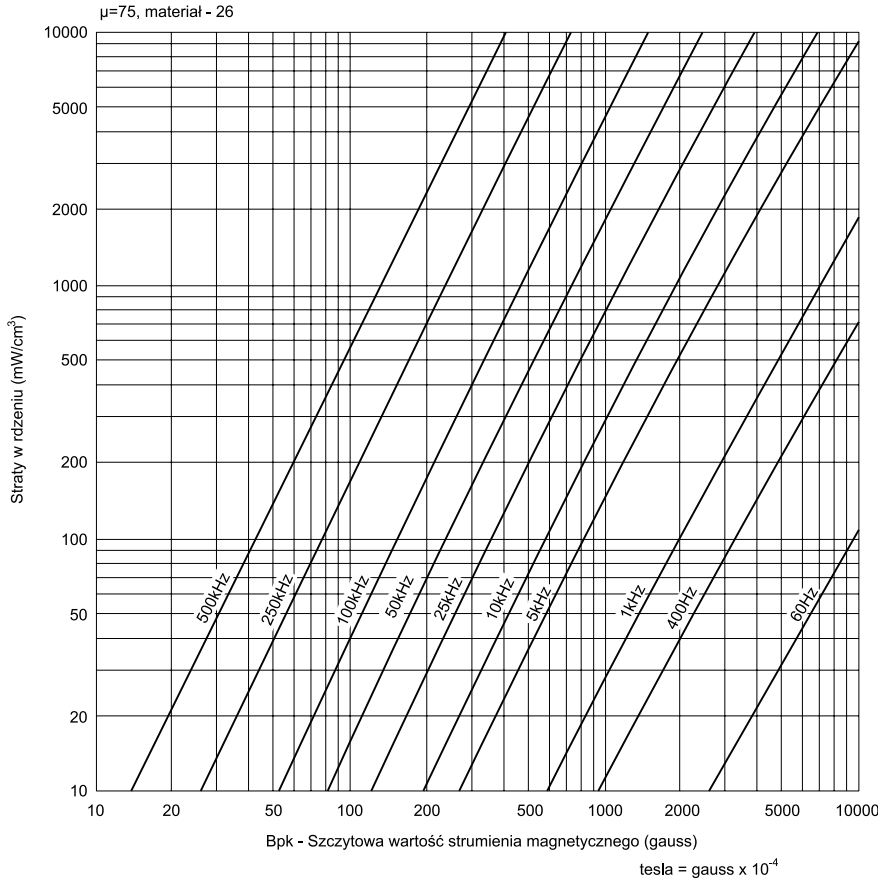
Więc drogi Czytelniku, jeśli obudzisz się w tobie chęć stworzenia jakiegoś elementu indukcyjnego, to postaraj się na samym początku tej niezmiernie ciekawej przygody, usłanej na końcu z pewnością kwiatami i czerwonymi dywanami, zapoznać się z charakterystyką materiału magnetycznego, jakiego zamierzasz użyć. Pamiętając o tym, że przenikalność magnetyczna względna osiąga największą wartość poniżej (patrzac od góry) i powyżej (patrzac od dołu) załamań charakterystyki, czyli zazwyczaj skupiamy się na prostoliniowym odcinku krzywej.

Do produkcji materiałów magnetycznych używa się różnych pierwiastków i związków chemicznych i łączy je ze sobą w taki sposób, aby w efekcie uzyskać materiał magnetyczny o określonych właściwościach. W zależności od użytych surowców i technologii wytwarzania

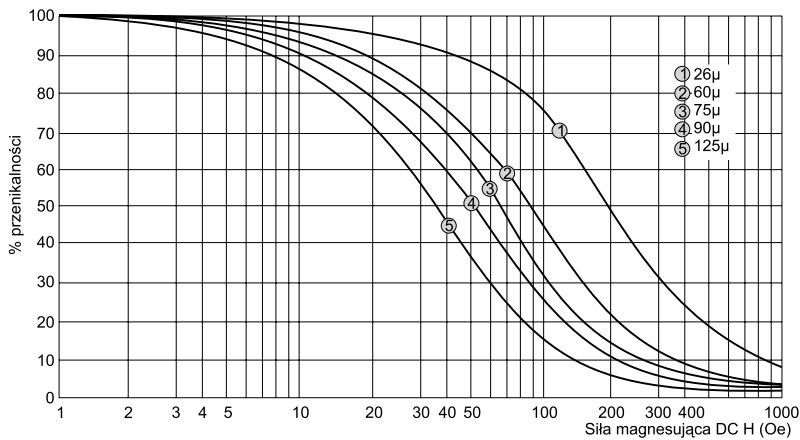
można uzyskiwać różne wielkości domen magnetycznych, a tym samym wpływać na zmianę właściwości magnetycznych produkowanych materiałów.

### Materiały konwencjonalne

Największej wielkości domeny, a co za tym idzie najbardziej bezwładne, znajdują się w blachach używanych do produkcji konwencjonalnych transformatorów sieciowych, przy czym wielkość domeny zależy od składu chemicznego (Si, Fe), od grubości blachy i kierunku jej walcowania. Cechy charakterystyczne takich materiałów to: niska częstotliwość pracy najczęściej 50 Hz i duża indukcja nasycenia rzędu 1,5 Tesli, stosunkowo duże straty mocy powodowane przez indukowane prądy wirowe i materiał stosunkowo tani. Praktycznie nie używa się ich powyżej częstotliwości 1 kHz.



Rys. 5.

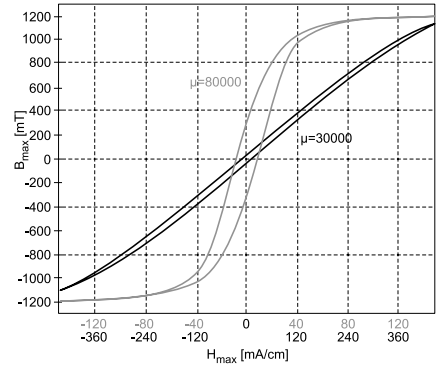


Rys. 6.

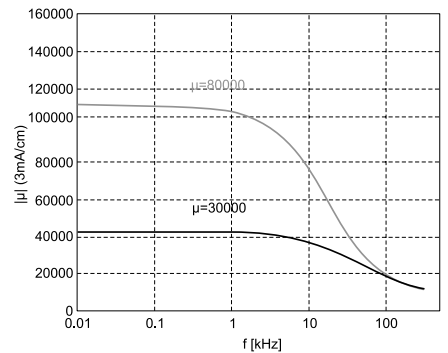
**Rdzenie proszkowe**

Kolejnym rodzajem materiałów magnetycznych miękkich jest sproszkowane żelazo. Zmielone na małe drobiny, mieszane w niektórych przypadkach z pewnymi „ulepszaczami” zostaje poddane wraz z wypełniaczem organicznym, sprasowaniu pod dużym ciśnieniem w odpowiedniej formie. Forma nadaje materiałowi magnetycznemu kształt rdzenia. Po sprasowaniu takiego materiału, pomiędzy drobinami żelaza pozostają przerwy, tworząc tak zwaną

rozproszoną szczelinę występującą w całej objętości rdzenia. Rdzeń wykonany z takiego materiału posiada nieliniową charakterystykę magnesowania w funkcji zewnętrznej siły magnesującej, w związku z tym, jego specyficzne własności są wykorzystywane do gromadzenia dosyć dużych ilości energii. Zwykle rdzenie wykonane z czystego proszku żelaza (materiał -26) należą do najtańszych i najbardziej popularnych materiałów. Indukcja nasycenia rzędu 1,2 Tesli, a także maksymalna częstotli-



Rys. 7.

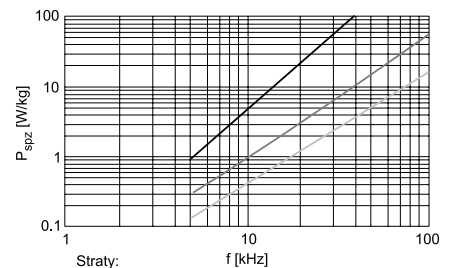


Rys. 8.

wość pracy ok. 80 kHz powodują, że trzeba stosować także bardziej wyrefinowane materiały (rys. 5).

Do takich należą: materiał -2 z bardzo niską przenikalnością początkową, wysoką częstotliwością graniczną, bardzo małymi stratami mocy, dużą liniowością i stabilnością temperaturową, ale za to charakteryzujący się dużymi gabarytami; materiał -8 łączy pozytywne cechy dwóch wcześniej wymienionych materiałów, za to stosunkowo drogi.

Musimy jednak pamiętać o poważnej wadzie, jaką posiadają rdzenie proszkowe. Jest nią niestety podatność na proces starzenia się rdzeni. Jest to proces nieodwracalny. Występuje on przy pracy w wysokich temperaturach, a jego przyczyną jest wypełniacz. Aby nasze



Rys. 9.

urządzenie żyło jak najdłużej nie starajmy się zbyt „żyłować” jego możliwości. Zalecana jest więc praca wszystkich rdzeni proszkowych w temperaturze do 90°C. Typowe zastosowania rdzeni proszkowych przedstawiono w **tab. 1**.

Grzechem byłoby nie wspomnieć w tej części artykułu o rdzeniach typu Super-MSS, uznawanych dzisiaj za najbardziej wartościowy materiał magnetyczny. Ten rodzaj proszków posiada cząsteczki oddzielone izolacją, która została specjalnie opracowana dla niskich przenikalności. Izolacja ta jest nieorganiczna, co pozwala osiągnąć wyższe wydajności w wyższych temperaturach. Natomiast jej dobre właściwości na przebicie elektryczne docenimy podczas dużych obciążeń prądowych, w których jak wiadomo mamy do czynienia z grubymi przekrojami drutów nawojowych.

Sproszkowany metal użyty w rdzeniach SUPER-MSS jest głównie stopem żelaza z małą ilością krzemu i aluminium. Pozbawiony kosztownego niklu może zapewnić nam jeszcze dodatkowe korzyści:

- pozabawienie magnetostrykcji, która jest zjawiskiem polegającym na zmianie wymiarów materiału znajdującego się w polu magnetycznym,
- wysoka zdolność magazynowania energii,
- małe straty (10x mniejsze w odniesieniu do rdzeni proszkowych),
- stabilność indukcyjności w funkcji bezpośredniego prądu polaryzacji,
- wysoka impedancja przy wysokiej częstotliwości,
- małe zmiany indukcyjności w funkcji prądu zmiennego.

Rdzenie SUPER-MSS znajdująca głównie zastosowanie w aplikacjach zaprojektowanych na dużą moc i tam, gdzie gromadzenie dużej energii magnetycznej staje się istotnym faktem (**rys. 6**).

Rdzenie te zostały projektowane z myślą o zastąpieniu rdzeni ze sproszkowanego żelaza w układach pracujących w zakresie częstotliwości 25...500 kHz, przy zachowaniu wysokiej stabilności parametrów w czasie pracy. Rdzenie takie mogą być wykorzystane w różnych układach, między innymi:

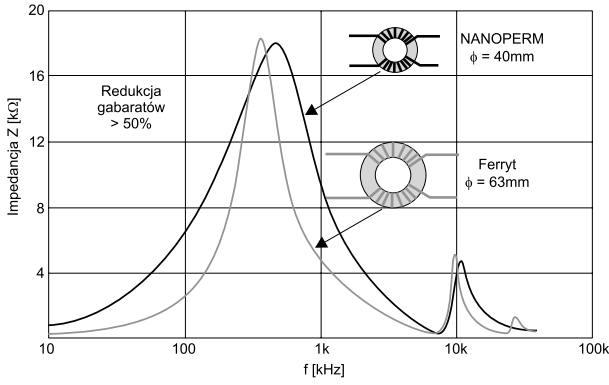
- w zasilaczach impulsowych jako dławik wyjściowy,
- w regulatorach współczynnika mocy (PFC),

**Tab. 3. Materiały o małych stratach**

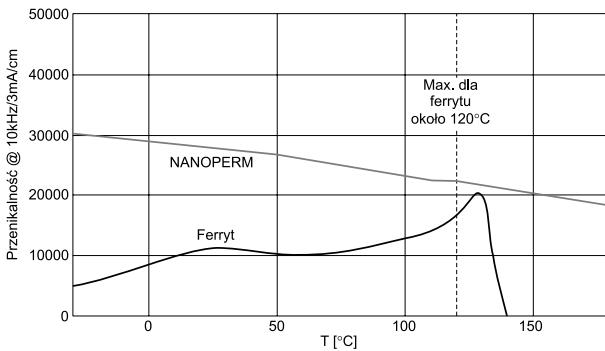
|                          |              |            |            |
|--------------------------|--------------|------------|------------|
| Przenikalność początkowa | 750          | 2000       | 2300       |
| ISKRA FERRITI            | 10G          | 26G        | 16G        |
| EPCOS                    | M33          | N45, N48   | N22, N26   |
| FERROXCUBE               | 3D3          | 3B6, 3H3   | 3B7, 3H1   |
| VOGT                     | Fi850, Fi262 |            | Fi323      |
| NEOSID/MMG               | F58          | P12        | P10, P11   |
| LCC THOMSON              | S5, C5       | S4, T9, S3 | A9, S1     |
| KASCHKE                  | K700, K600   | K2007      | K2005      |
| TRIDELTA                 | Mf143        | Mf166      | Mf183      |
| SAGEM                    | 509          | 507        | 506        |
| PRAMET                   |              |            | H20        |
| POLFER                   | F-605        |            | F-2001     |
| EM-VAC                   |              |            | M2F, M2F-A |
| TDK                      | H6F          | H6K, H8B   | H6B        |
| FDK - FUJI               | H52B, 3H01   | H22Z, 3H20 | 3H21       |
| TOKIN                    |              | F2001      | F2003      |
| CERAMIC/MAGNETICS        | MN67         |            | MN80       |
| MAGNETICS                | A            | G          | D          |
| NEOSID                   | F08          |            | F02, F2001 |
| FERRIT                   | 700HM        |            |            |
| BALFORD/EEL              |              | Q7         | Q6         |

**Tab. 4. Materiały o wysokiej przenikalności**

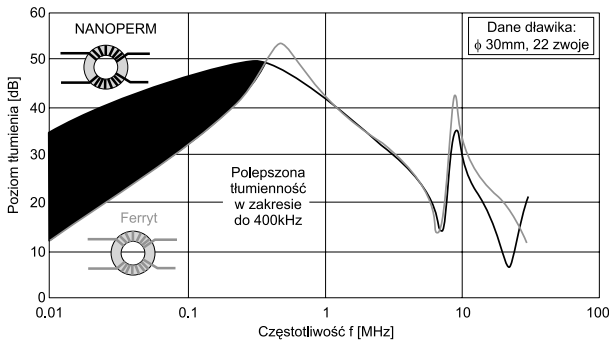
|                          |                |              |               |        |       |
|--------------------------|----------------|--------------|---------------|--------|-------|
| Przenikalność początkowa | 4300           | 6000         | 10000         | 12000  | 15000 |
| ISKRA FERRITI            | 19G            | 22G          | 12G           | 32G    | 52G   |
| EPCOS                    | N30            | T37, T35     | T44, T38      | T42    | T46   |
| FERROXCUBE               | 3S1, 3E4, 3C11 | 3E27, 3E25   | 3E5           | 3E6    | 3E7   |
| VOGT                     | Fi340          | Fi360        | Fi410         |        |       |
| NEOSID/MMG               | F9N, F9        | F10, FT6     | F39, FTA      |        |       |
| LCC THOMSON              | A6, T6         | A4, A5, T4   | A3, A2        |        |       |
| KASCHKE                  | K4000          | K6000        | K8000, K10000 |        |       |
| TRIDELTA                 | Mf185, Mf193   | Mf187, Mf197 | Mf199         |        |       |
| SAGEM                    | 512            | 511          | 515           |        |       |
| PRAMET                   | H40            | H60          |               |        |       |
| POLFER                   | F4001          |              |               |        |       |
| EM-VAC                   | M5, M4         | M5, M6       |               |        |       |
| TDK                      | H5A, H7A       | HS52, H5B    | HS1, H5C2     | H5D    |       |
| FDK - FUJI               | 2H04           | 2H06         | 2H10          |        | 2H15  |
| HITACHI/NIPPON           | GP7            | GP5, GQ5C    | GP11          |        |       |
| TOKIN                    | H4000          | H6000        |               | H12000 |       |
| CERAMIC/MAGNETICS        | MN30           | MN60         | MC25          |        |       |
| MAGNETICS                | T, J           | J            | W             |        |       |
| NEOSID                   | F830           | F860         |               |        |       |
| FAIR RITE                |                | 75           | 76            |        |       |
| STEVARD                  | 34             |              | 40            |        |       |
| TSC                      | TSF5000        |              | TSF010K       |        |       |
| TOMITA                   | 2E3            | 2E1          | 2E2           |        |       |
| ACME                     | A05            | A07          | A10           |        |       |
| COSMOFERRITES            | CF195          | CF195        | CF197         |        |       |
| BALFORD/EEL              | T2             | T4           |               |        |       |
| FERRONICS                | B              |              | T             |        |       |



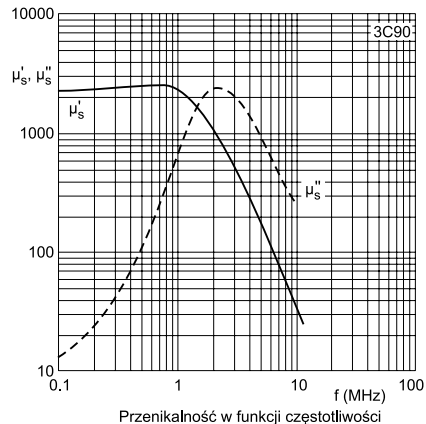
Rys. 10.



Rys. 11.



Rys. 12.



Rys. 13.

- w transformatorach mocy,
- w układach rezonansowych,
- w filtrach EMI, do tłumienia zakłóceń asymetrycznych.

### Nanokryształy

Czas na nanokryształy, czyli w tym przypadku Nanopermy, które powstają w procesie gwałtownego schładzania metalu i jednocześnie formowania w bardzo cienką taśmę. Materiał, który tak powstanie charakteryzuje się drobną mikrostrukturą krystaliczną. Typowe rozmiary ziarna są na poziomie 10 nm i dlatego też już wiadomo, dlaczego taki materiał nazywa się nanokrystalicznym. Drobnodziarnista struktura materiału jest cechą, która pozwala na osiągnięcie niezwykłych właściwości miękkim magnetycznym. Jest to materiał bezpostaciowy, który podczas gwałtownego schładzania nie zdążył się skryształizować i uzyskał nową postać, stan skupienia zwany szklistym metalem.

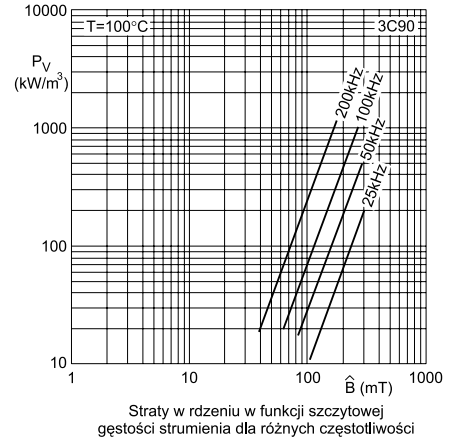
Podstawowe cechy Nanopermów:

- skład stopu -  $Fe_{73.5}Cu_1Nb_3Si_{15.5}B_7$ ,
- gęstość strumienia nasycenia  $B_{sat} - 1,2 T$ ,
- poziom przenikalności  $\mu - 20000...200000$  (nie spotykany w innych materiałach magnetycznych),
- nasycenie magnetostrykcji  $< 0,5 ppm$ ,
- elektryczna rezystywność -  $115 \mu\Omega cm$ ,
- gęstość -  $7,35 g/cm^3$
- temperatura Curie  $T_c - \text{około } 600^\circ C$ ,
- maksymalna temperatura pracy  $T_{max} - \text{około } 120^\circ C (180^\circ C)$ ,
- straty rdzenia (0,3 T, 100 kHz, sinus)  $P_v - < 110 W/kg$ ,
- grubość taśmy  $d - 17/23 \mu m$ .

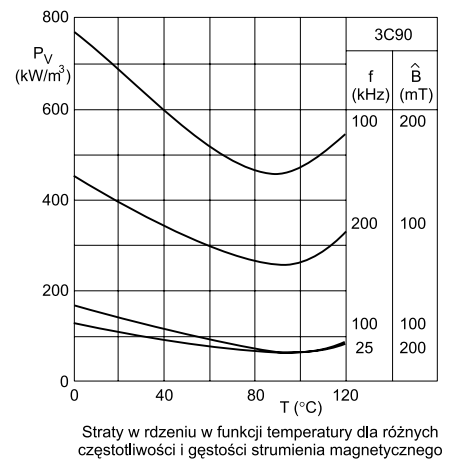
Właściwości i zalety nanokryształów najlepiej można poznać analizując ich charakterystyki przedstawione na rys. 7...12.

### Ferryty

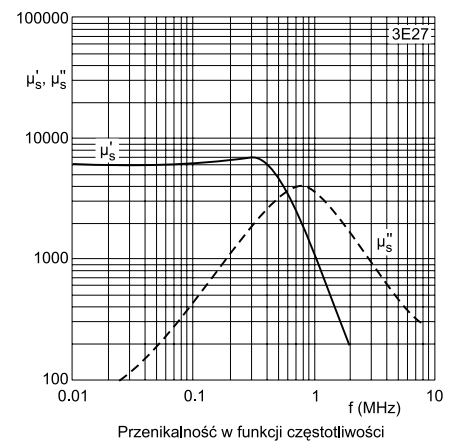
Na koniec zostawiłem ferryty, które są materiałem mikrokrysta-



Rys. 14.

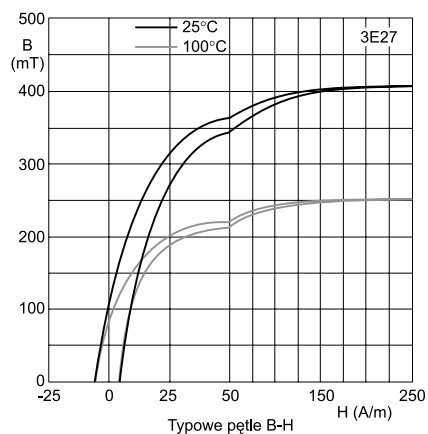


Rys. 15.

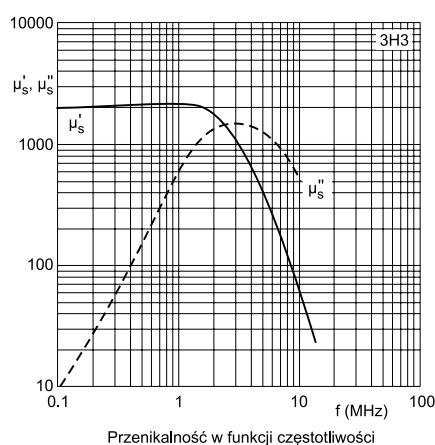


Rys. 16.

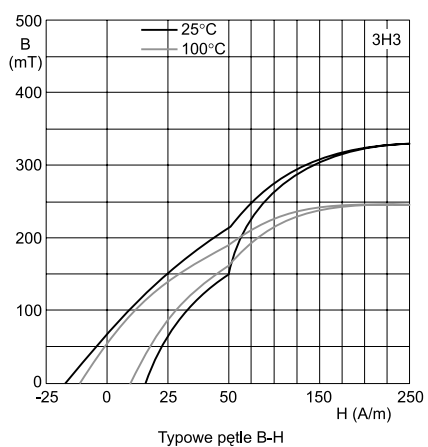
licznym, zbudowanym z kryształków tlenku żelaza ( $Fe_2O_3$ ) i różnych domieszek metali. Rozróżniamy dwie najczęstsze kombinacje chemiczne występujące w materiale ferrytowym. Jest to kombinacja manganowo - cynkowa ( $Mn-Zn$ ) i niklowo - cynkowa ( $Ni-Zn$ ). Mangan i cynk oznacza się wyższą przenikalnością i indukcją nasycenia  $B_s$  w porównaniu z jego niklowo - cynkowym



Rys. 17.



Rys. 18.



Rys. 19.

bratem charakteryzującym się wyższą rezystywnością i pracującym ze znacznie wyższymi częstotliwościami. Najprostszą metodą identyfikacji rdzenia jest jego „zbadanie”. Po pierwsze sprawdzamy pilnikiem, czy jest twardy, czy miękki. Jeżeli jest miękki, to jest to jeden z materiałów proszkowych, jeżeli natomiast jest twardy i kruchy, to mamy do czynienia z ferrytem. Po nadpiłowaniu dwóch punktów uzyskujemy do-

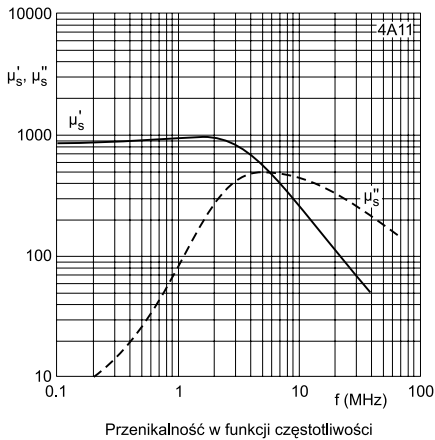
| Tab. 5. Materiały mocy   |          |               |              |            |            |           |
|--------------------------|----------|---------------|--------------|------------|------------|-----------|
| Przenikalność początkowa | 3000     | 2000          | 2300         | 2200       | 2000       | 1300      |
| ISKRA FERRITI            | 25G      | 15G           | 45G          | 35G        | 65G        | 75G       |
| EPCOS                    | N41      | N27           | N67          | N87        | N97        | N49, L49  |
| FERROXCUBE               | 3B8      | 3C10, 3C80    | 3C81, 3C85   | 3C90, 3F3  |            | 3F4, 3F35 |
| VOGT                     | Fi323    | Fi322         | Fi324        |            |            |           |
| NEOSID/MMG               | F5A, F5C | F5            | F44          | F45        | F47        |           |
| LCC THOMSON              | B1       | B5, B6, B3    | B2, B4, F1   | F2         |            |           |
| KASCHKE                  |          | K2004         | K2006        | K2008      |            |           |
| TRIDELTA                 | Mf196B   | Mf196A, Mf196 | Mf198        | Mf198A     |            |           |
| SAGEM                    |          | 516, 517      | 527          |            |            |           |
| PRAMET                   |          | H21           | H24          |            |            |           |
| POLFER                   |          | F807          | F814         |            |            |           |
| EM-VAC                   |          | M2TN-B        | M2TN-C       |            |            |           |
| TDK                      | PC30     | HV22, PC30    | PC40         | PC44, PC40 | PC50, PC44 | PC47      |
| FDK – FUJI               | 6H10     | 5H20          | 6H10         | 6H40, 6H20 | 7H10, 6H40 | 7H10      |
| HITACHI/NIPPON           | SB-5S    | SB-3L         | SB-7L, BS-7C | SB-9C      | SB-1M      |           |
| TOKIN                    | B3100    | B2500         | B25          |            | B40        |           |
| CERAMIC/MAGNETICS        |          |               | MN80         |            |            |           |
| MAGNETICS                | F        |               |              | R          | P          |           |
| NEOSID                   |          | F827          | F867         | F887       |            |           |
| FAIR RITE                |          | 77            | 78           |            |            |           |
| STEWARD                  |          |               | 32           |            |            |           |
| TSC                      |          | TSF7070       | TSF7099      | TSF5080    |            |           |
| TOMITA                   | 2E6      | 2E6C          |              |            |            |           |
| ACME                     | P2       |               |              |            |            |           |
| COSMOFERRITES            | CF101    | CF196         | CF129        | CF138      |            |           |
| BALFORD/EEL              |          | L2            |              |            |            |           |

stęp do gołego rdzenia. Możemy teraz zmierzyć jego rezystancję. Jeżeli jest niska, to jest to Mn-Zn, jeżeli wysoka, to Ni-Zn. Do dość popularnych materiałów Mn-Zn można zaliczyć 3C85, 3C90, 3F3 i 3F35 (będziemy się posługiwać oznaczeniami firmy FERROXCUBE ze względu na ich popularność na naszym rynku) wykorzystywanych między innymi w przetwornicach impulsowych; 3E27, 3E5, 3C11 o średniej i wysokiej przenikalności magnetycznej występujący w układach filtrów EMI; 3H3, 3D3, które zostały docenione w przemyśle telekomunikacyjnym pokrywając pasmo do 2 MHz.

Podstawowe zależności pomiędzy głównymi parametrami, niektórych z tych materiałów, przedstawiają wykresy na rys. 13...19. Bardzo ogólna zasada mówi, że im niższa jest przenikalność początkowa, tym wyższą częstotliwością pracy charakteryzuje się dany materiał.

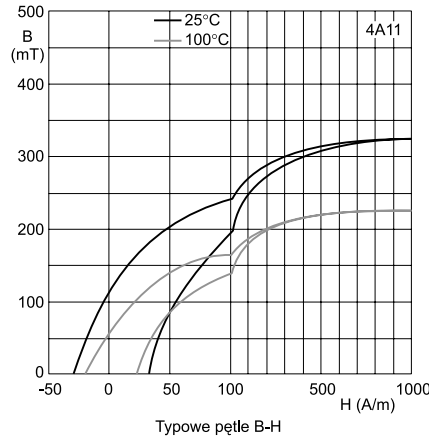
Co w rodzinie to nie zginie, więc trochę również o niklu i cynku. Tutaj warto zwrócić uwagę na materiały typu 4A11, 4B1, 4C65, 4E2, które są używane w dławikach szerokopasmowych EMI, czy też w naszych domowych antenach, jako część elementu symetryzatora. Częstotliwość pracy elementów niklowo – cynkowych sięgają zazwyczaj już MHz i o tym warto pamiętać (rys. 20, 21)

Ze względu na kształt i wymiary, materiały ferrytowe występują w największej ilości na rynku magnetycznym. Mamy tu do czynienia z toroidami, kształtkami typu EE, EFD, ETD, UU, RM, P, EP, ER, planarami, walcami, walcami z otworem, RKS-ami dwu i wielo-otworowymi oraz z zintegrowanymi elementami indukcyjnymi typu IIC. O tych wszystkich materiałach, a także o niewymienionych wyżej opowiemy w następnych odcinkach.



Rys. 20.

Często zastanawiamy się nad tym, jaki materiał lub, jaki odpowiednik materiału będzie w naszej aplikacji najlepszy. Dane zebrane w **tab. 2...4** na pewno pomogą zde-



Rys. 21.

cydować o wyborze. Są w nich zamieszczone materiały producentów, których już nie ma na rynku, ale zwyczajowo wielu elektroników posługuje się tymi oznaczeniami.

I to by było na tyle tej opowieści. Dla szerszego zapoznania się z materiałami magnetycznymi zapraszam do lektury oferowanej przez ich producentów. Znajdziecie ją między innymi na ich stronach internetowych, jak również w katalogach firmowych. Niech moc będzie z Wami.....

**Konstruktor firmy Feryster  
Tomasz Szyćko**

*Literatura:*

1. M. Soiński, „Materiały magnetyczne w technice”, COSiW, Warszawa 2001 r.
2. A.Gerfer, H.Zenker, B.Rall „Trilogy of inductors”, WE

www.arnoldmagnetics.com  
 www.ferroxcube.com  
 www.feryster.com.pl  
 www.micrometals.com

**1/2**

**180x30**