

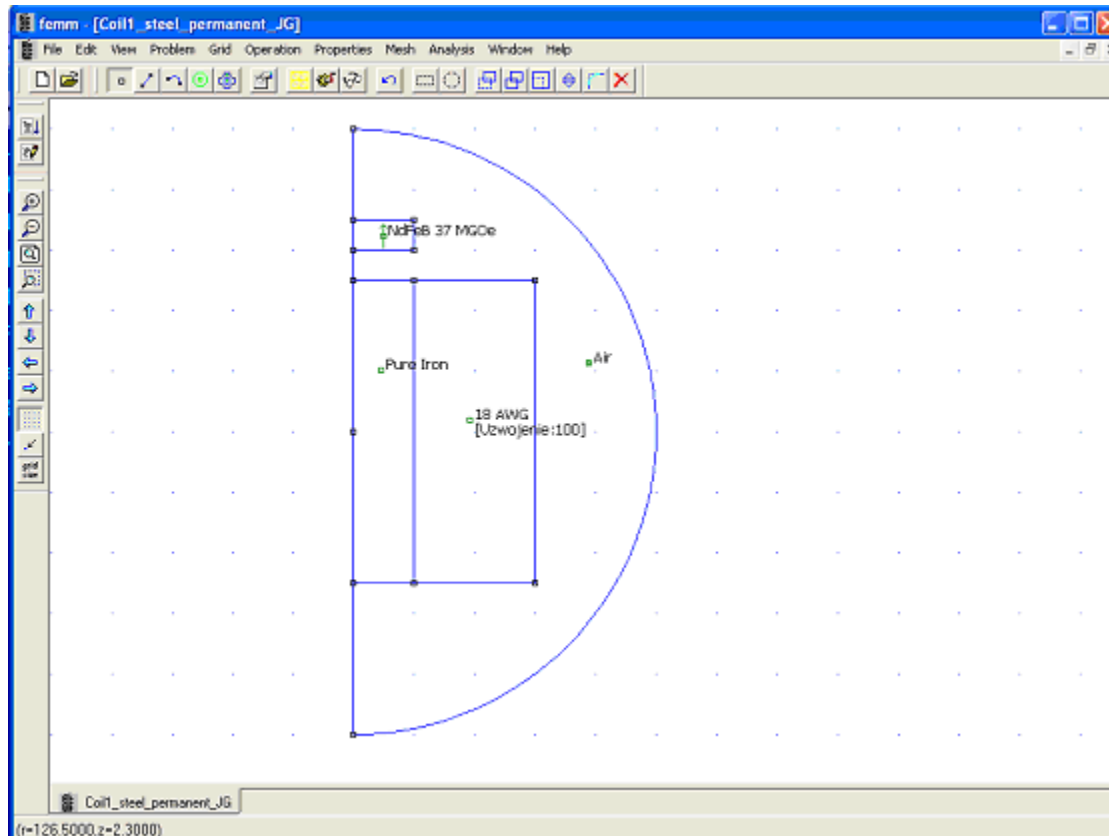
Prototypowanie wspomagane komputerowo

elementów magnetycznych
z wykorzystaniem oprogramowania
typu CAE (*Computer Aided Engineering*)

Finite Element Method Magnetics FEMM

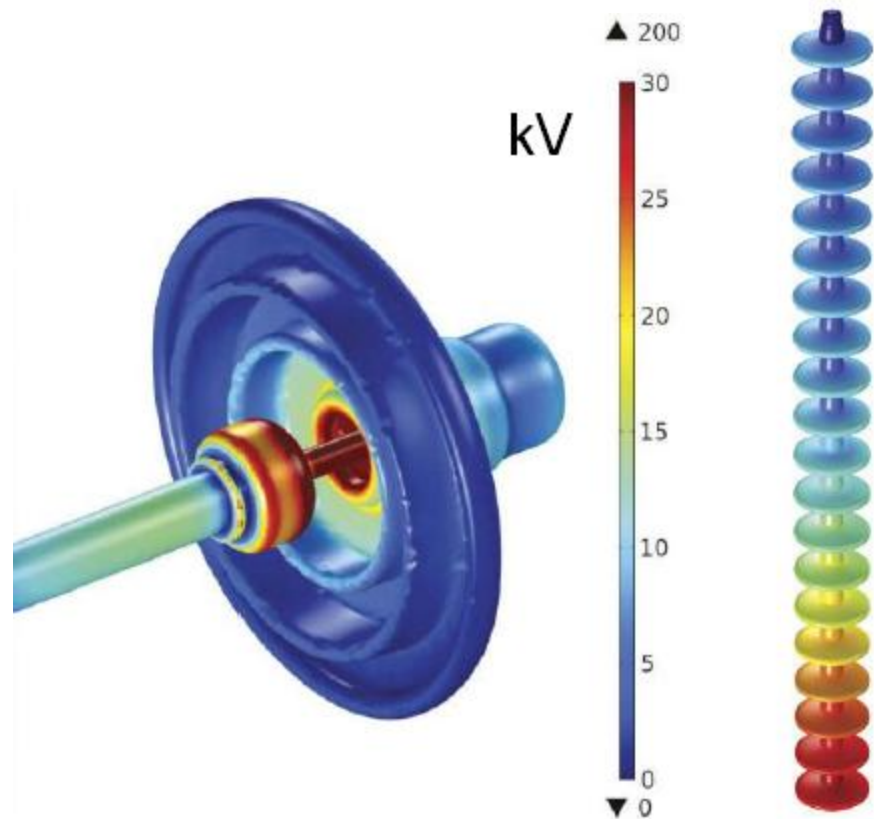
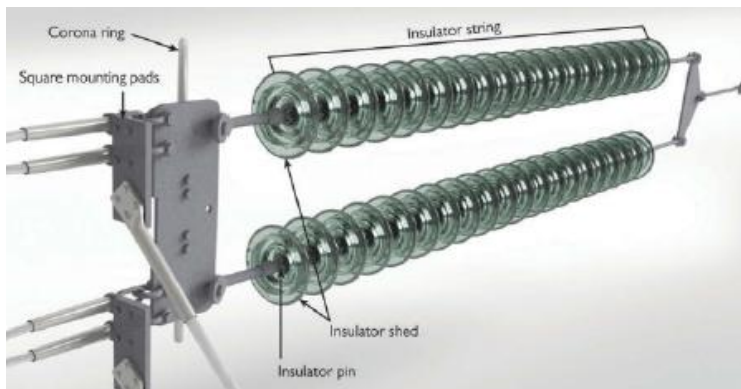
FEMM

Program typu CAE (Computer Aided Engineering) wspomagający pracę inżynierską przy rozwiązywaniu problemów magnetycznych, elektrostatycznych, cieplnych



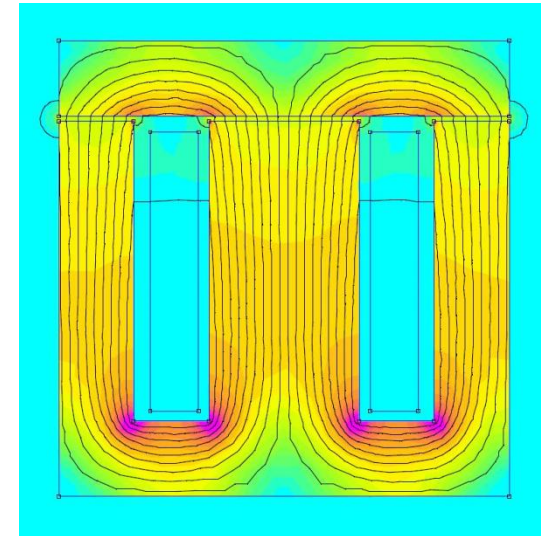
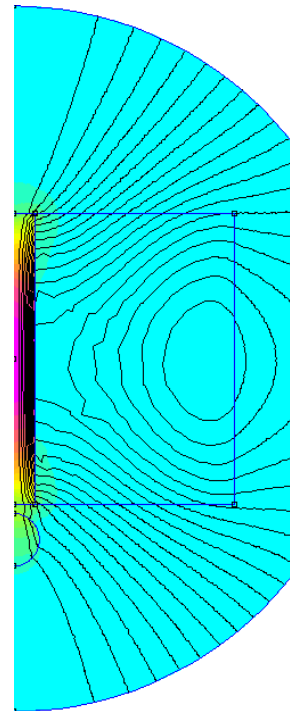
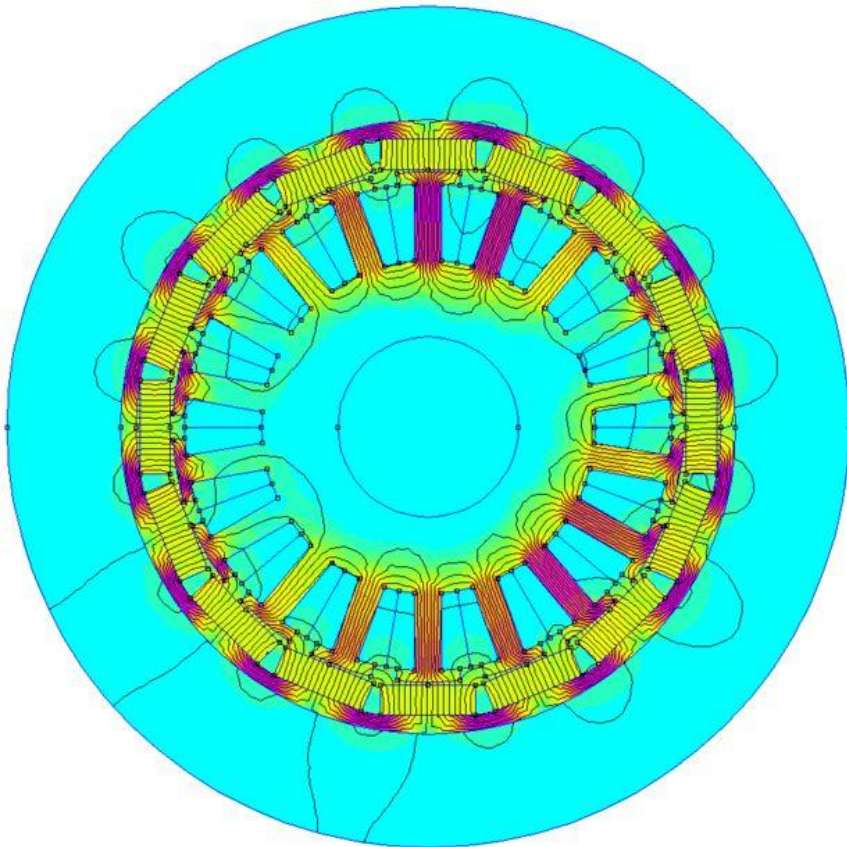
Zastosowanie FEM w elektrotechnice

- Obliczanie natężenia pola elektrycznego



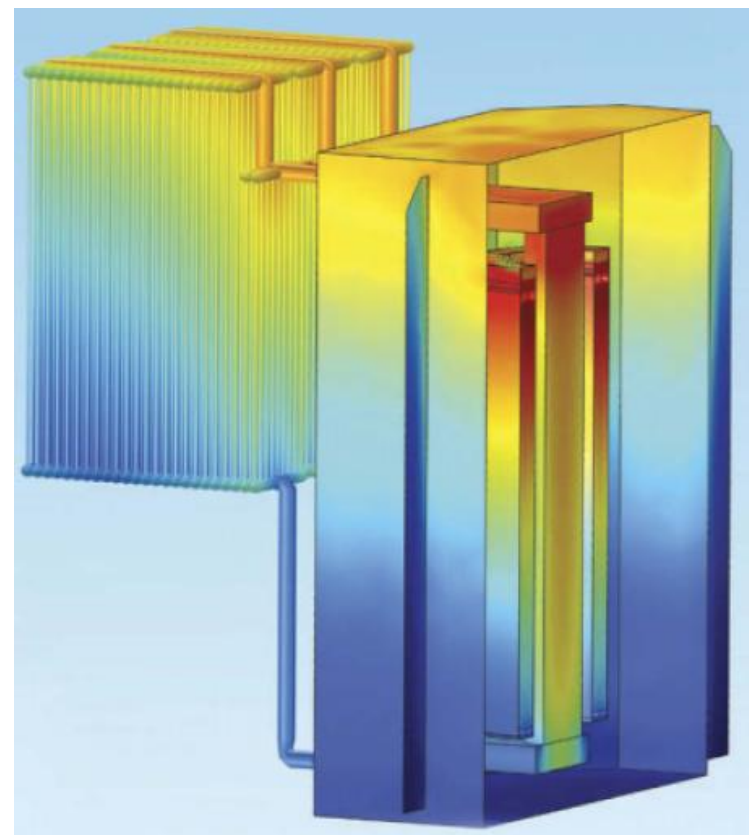
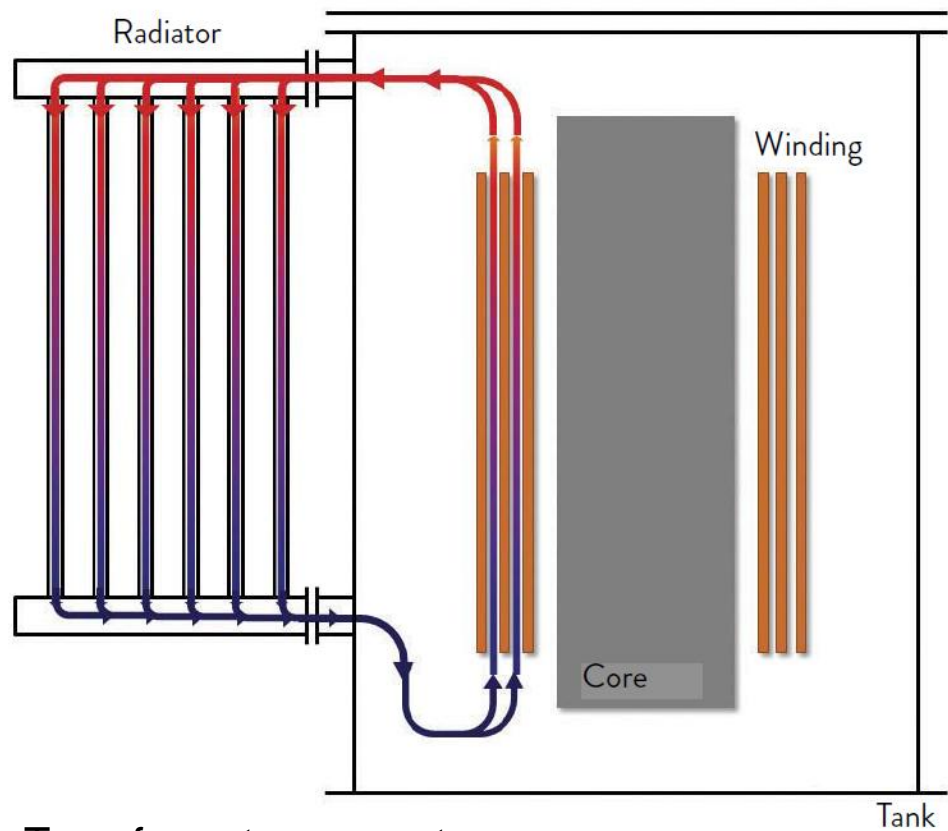
Zastosowanie FEM w elektrotechnice

- Obliczanie natężenia pola magnetycznego

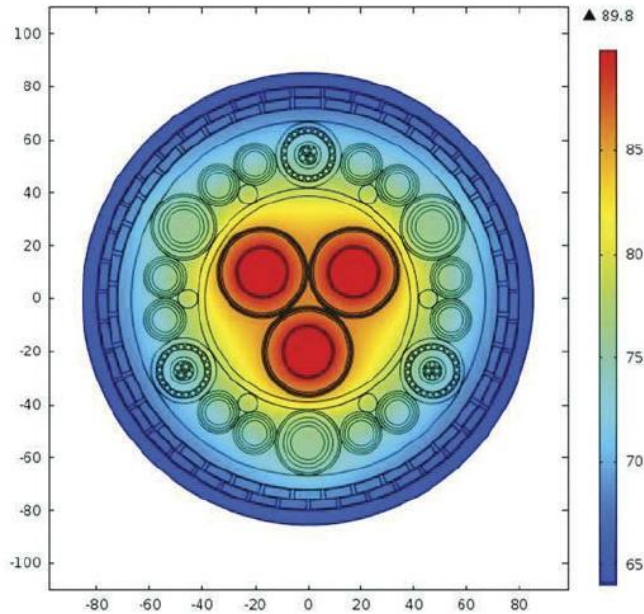


Zastosowanie FEM w elektrotechnice

- Obliczanie przepływu ciepła



Zastosowanie FEM w elektrotechnice

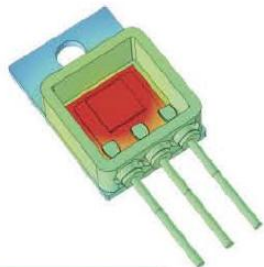


Obliczanie przepływu ciepła

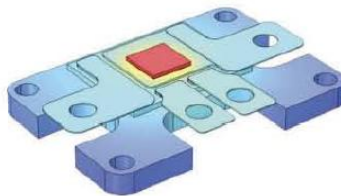
Rozkład temperatury w kablu energetycznym

Rozkład temperatury elementów półprzewodnikowych

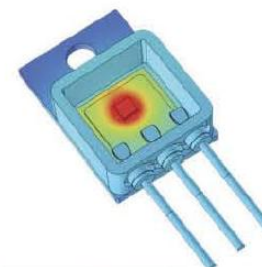
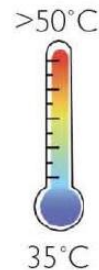
TO-254



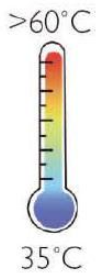
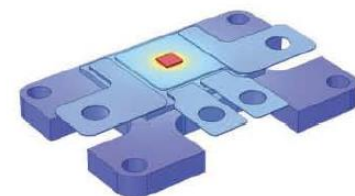
SiCTMOS



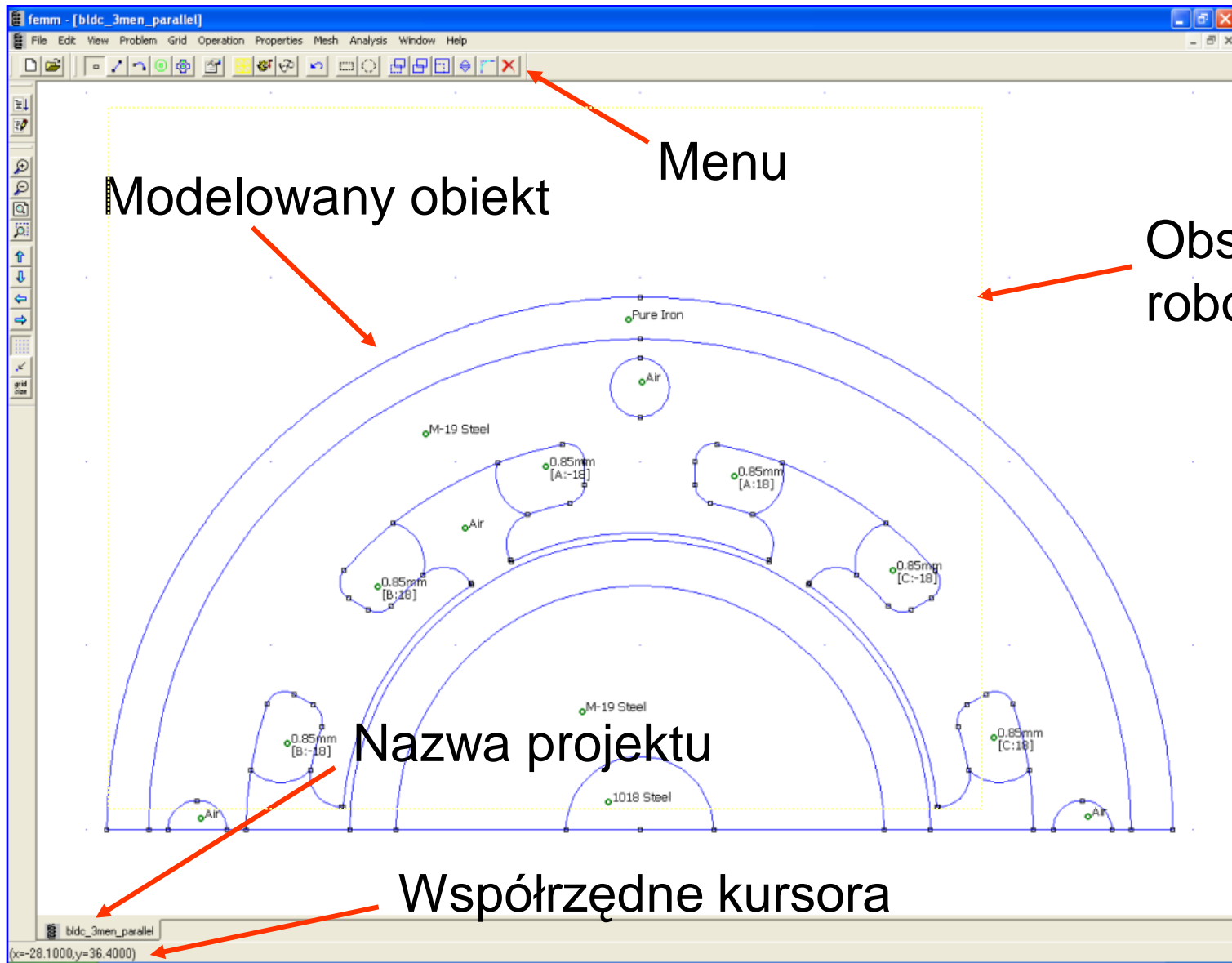
TO-254



GaN HEMT

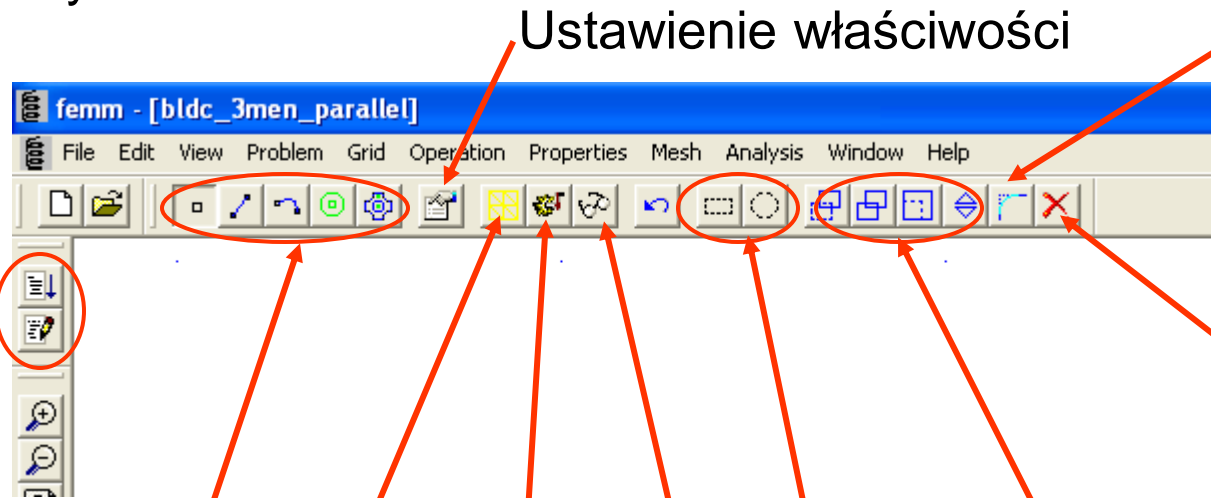


Budowa programu typu CAE (przykład: FEMM)



Budowa programu typu CAE (przykład: FEMM)

Praca z językiem skryptowym LUA



Ustawienie właściwości

Zaokrąglenie rogów elementu

Rysowanie obiektu

Tworzenie siatki elementów skończonych

Start obliczeń

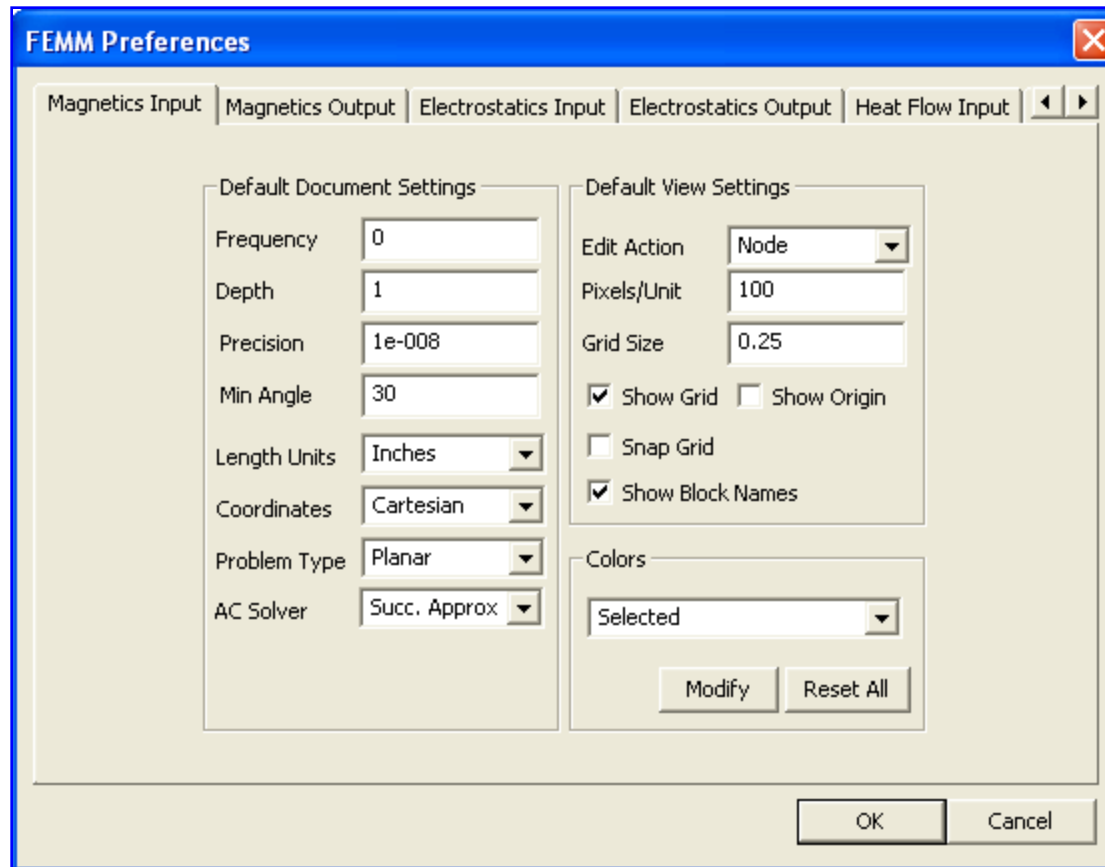
Przeglądanie i analiza wyników

Wybór elementów obiektu

Kasowanie wybranych elementów obiektu

Operacje na obiekcie

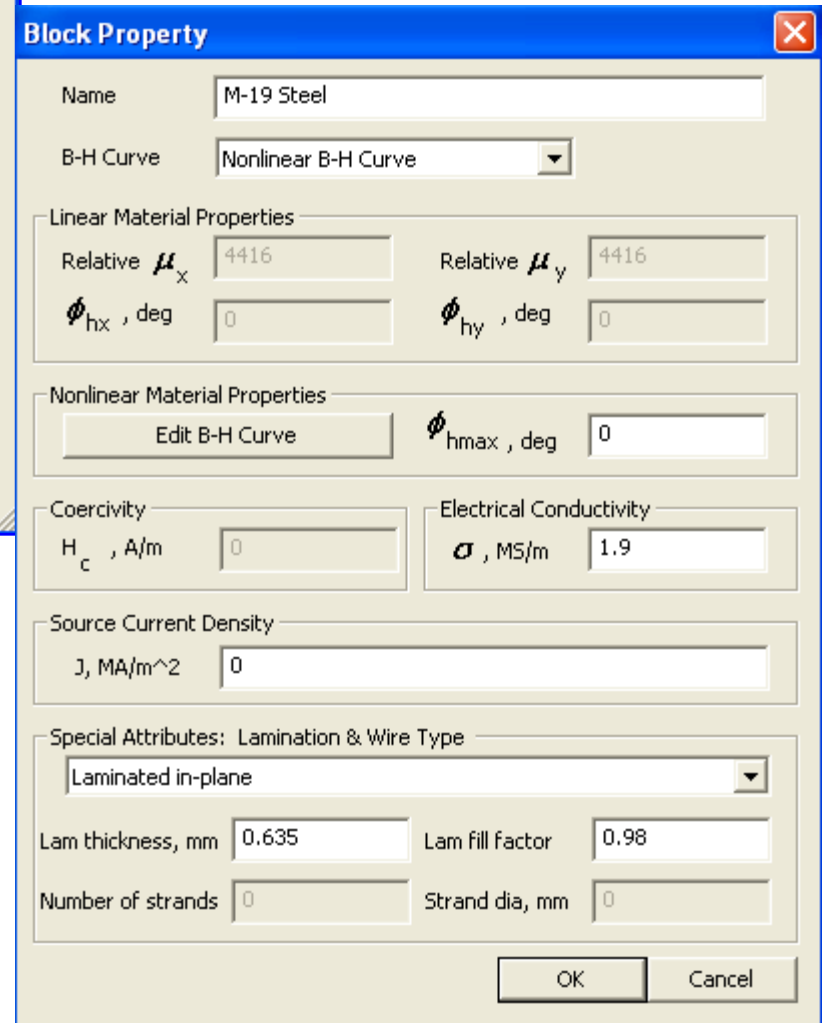
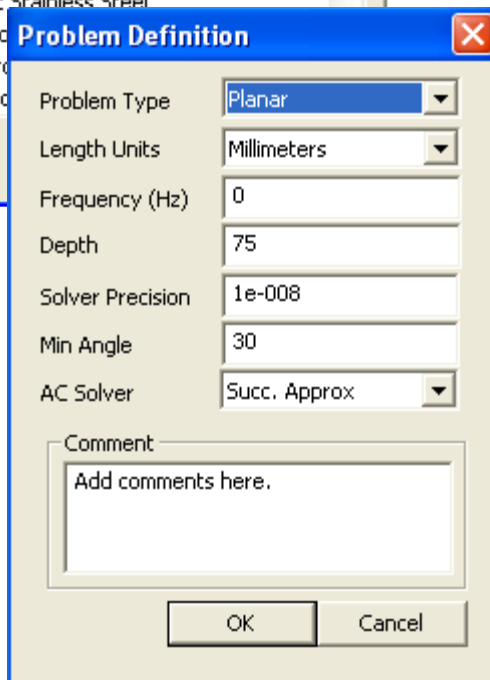
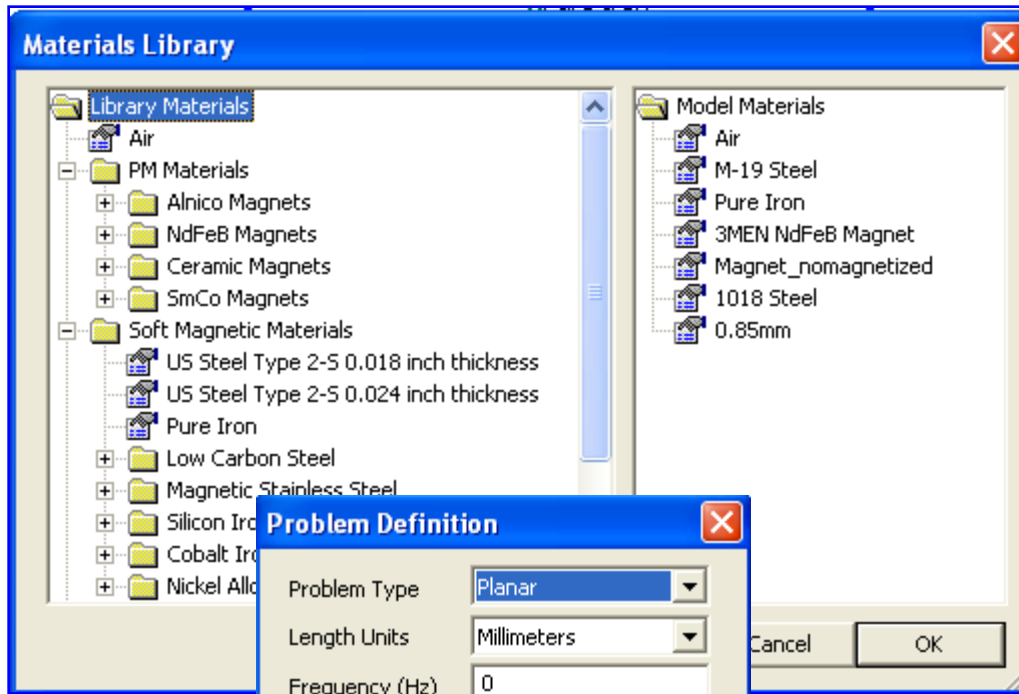
Budowa programu typu CAE (przykład: FEMM)



Wybór ustawień programu

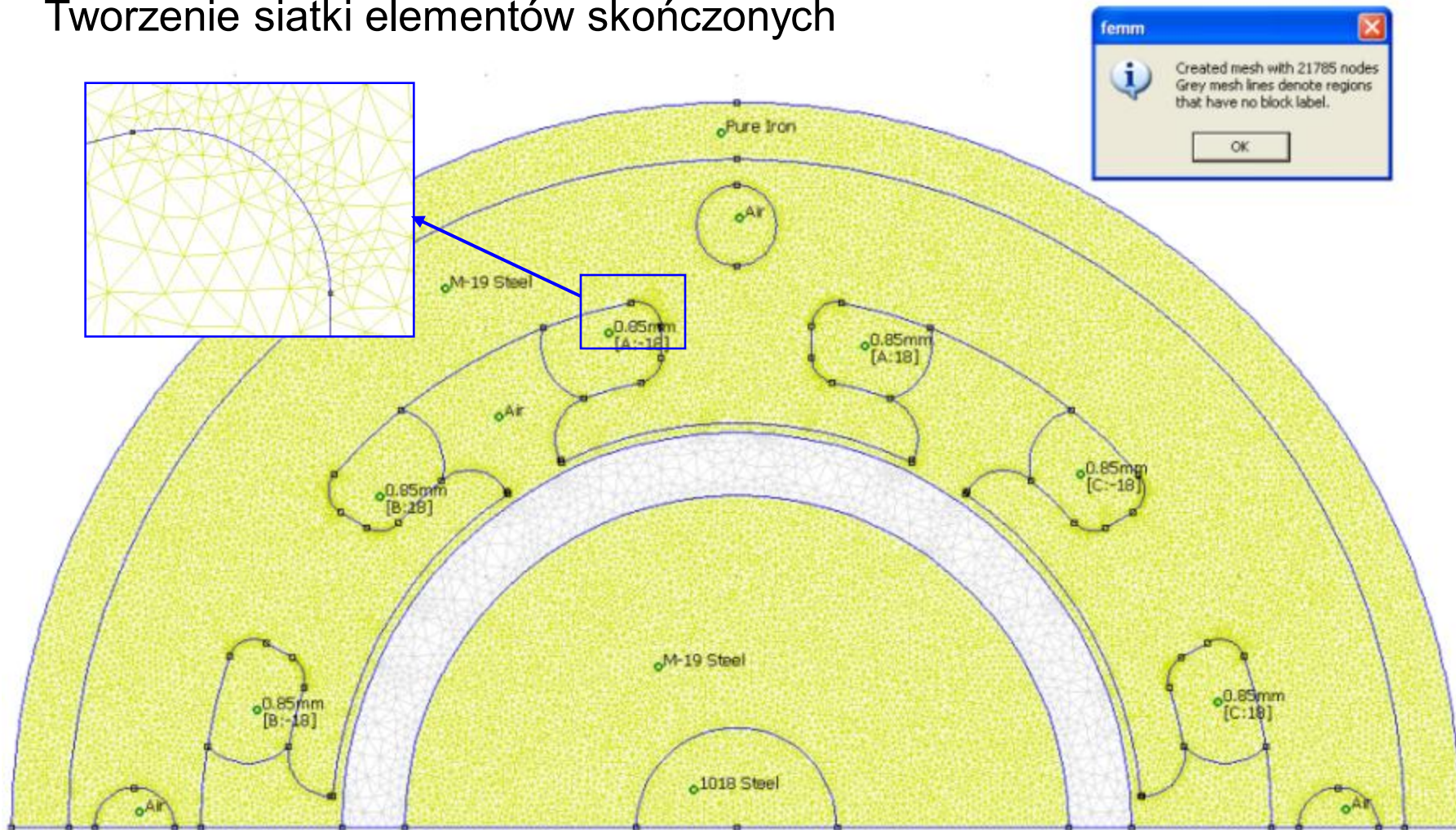
Budowa programu typu CAE (przykład: FEMM)

Ustawienia właściwości obiektu i warunków obliczeń



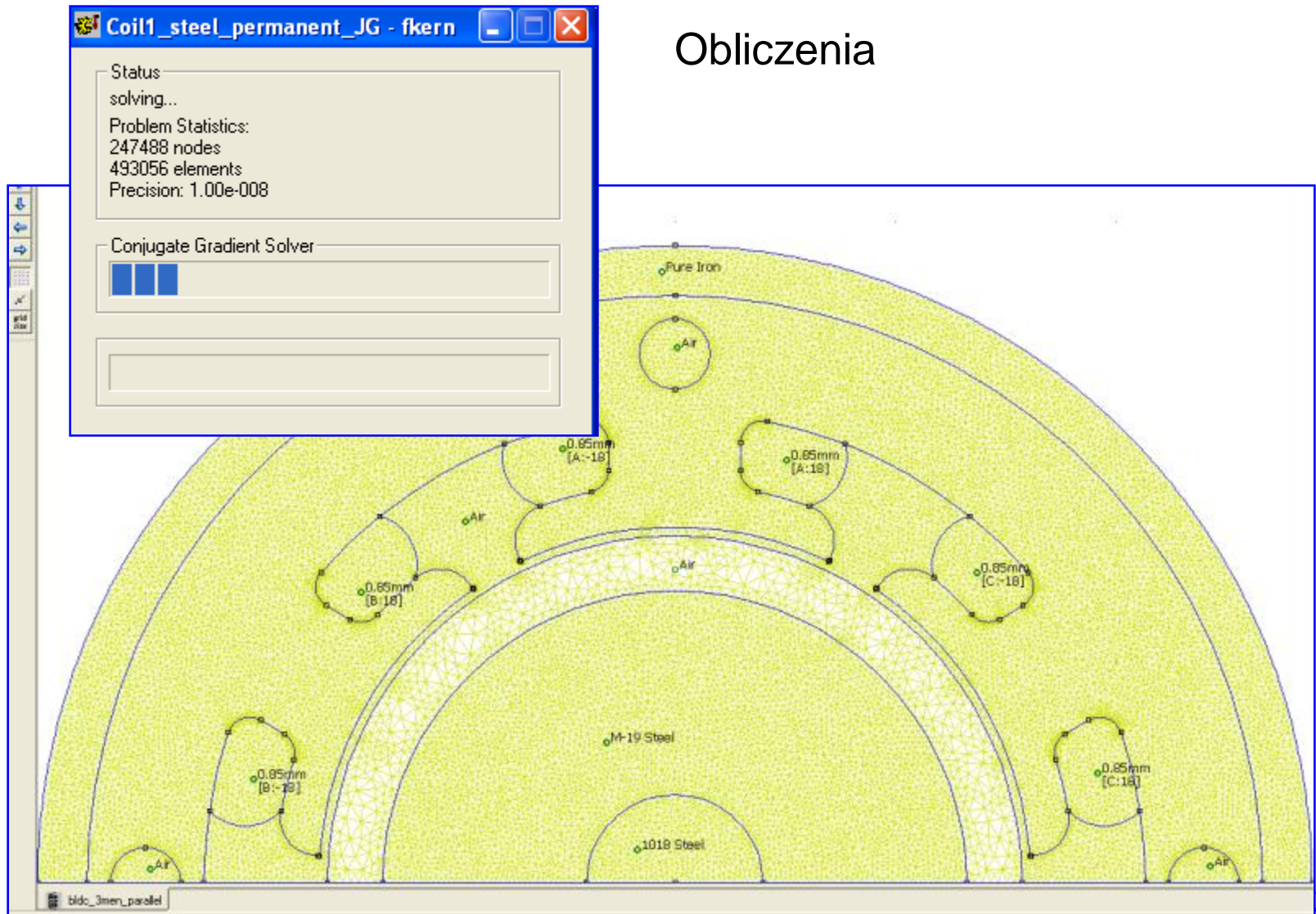
Budowa programu typu CAE (przykład: FEMM)

Tworzenie siatki elementów skończonych

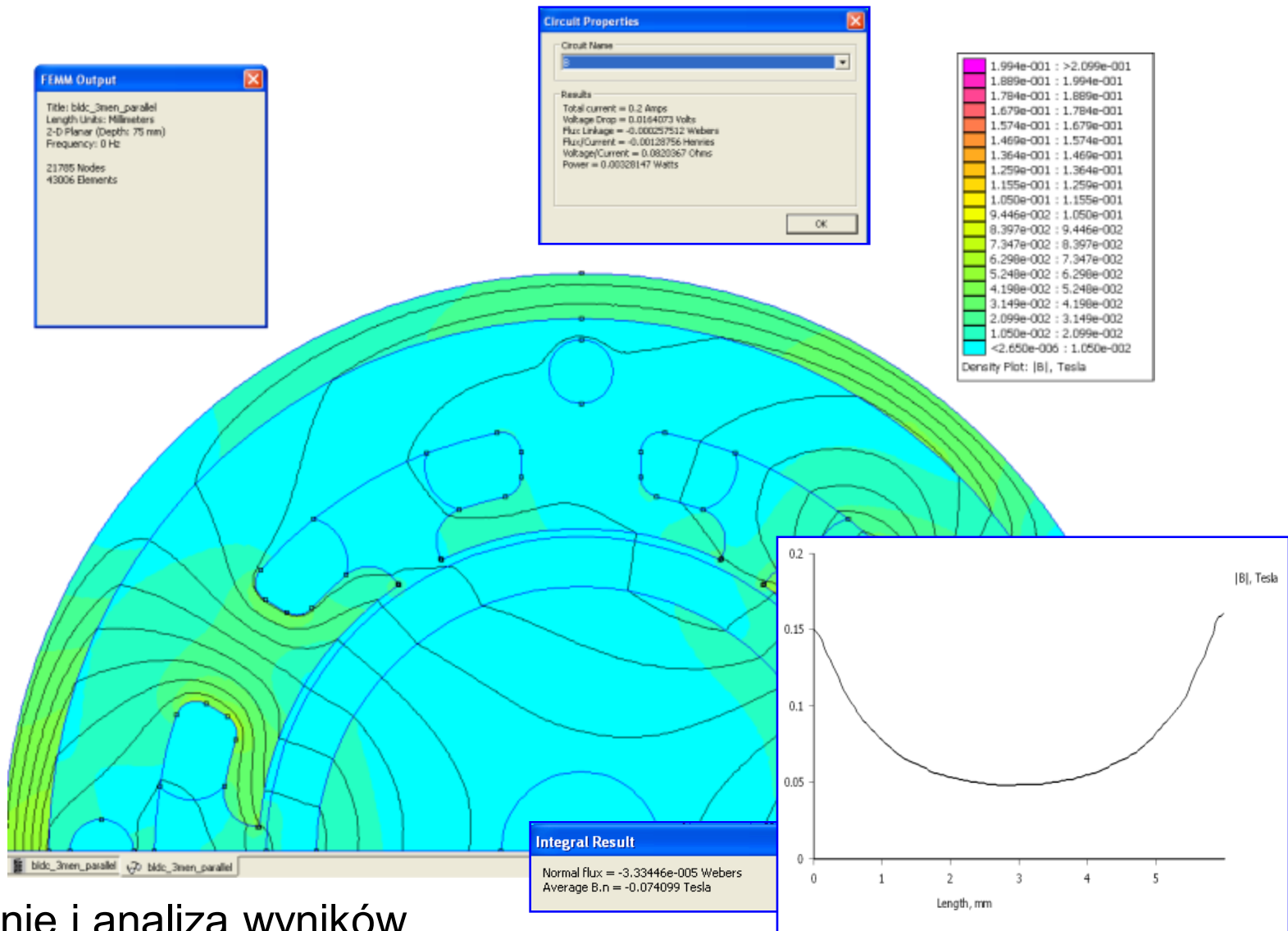


Budowa programu typu CAE (przykład: FEMM)

Obliczenia



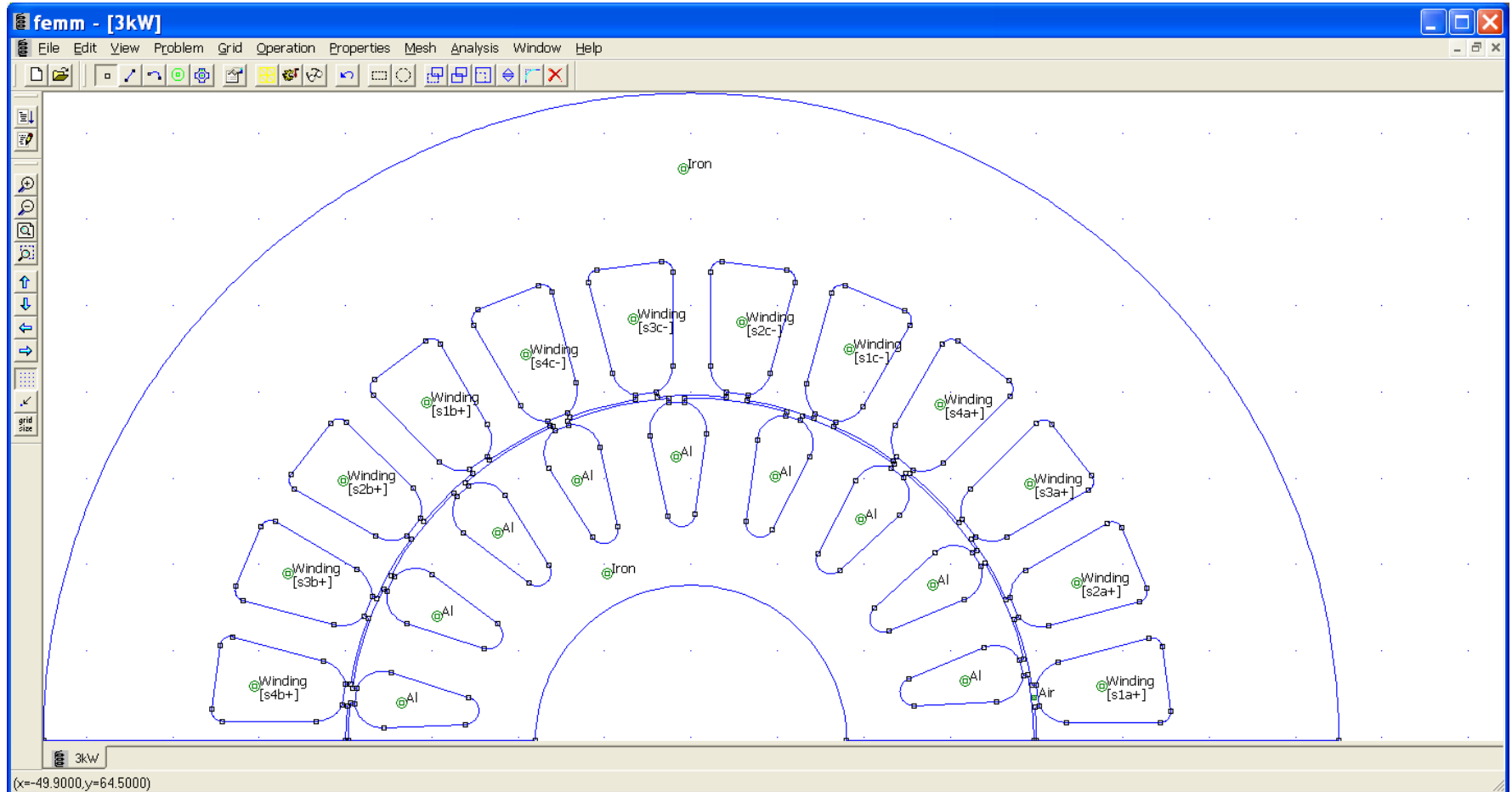
Budowa programu typu CAE (przykład: FEMM)



Oglądanie i analiza wyników

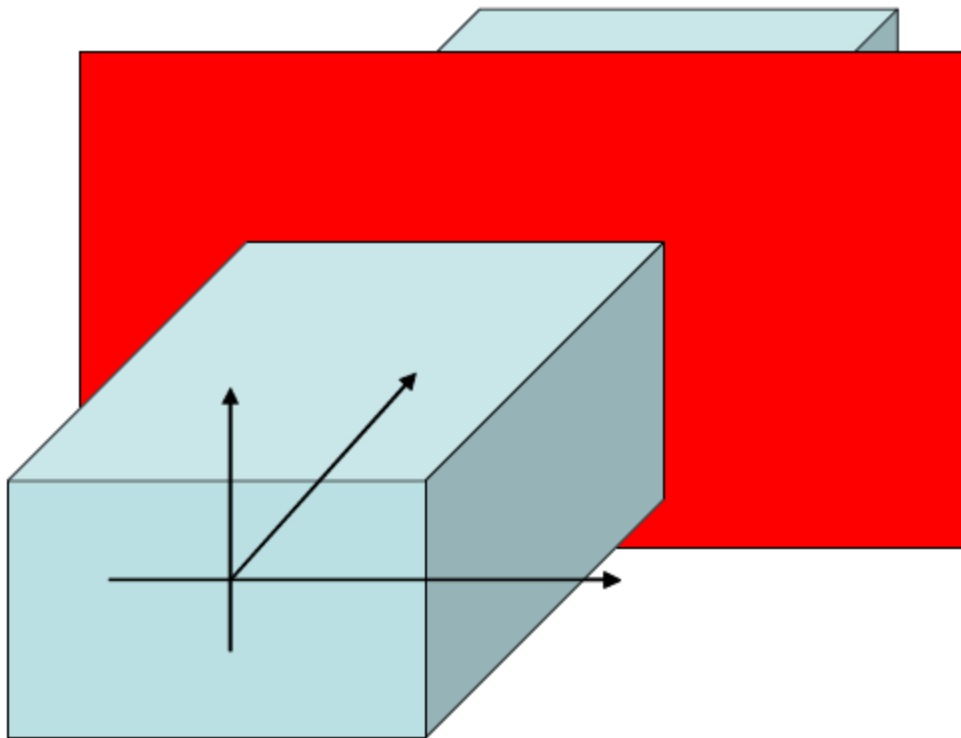
FEMM

Wprowadzanie geometrii



FEMM

Sprowadzanie problemu 3D do 2D



PLANARNE

Problem Definition ✕

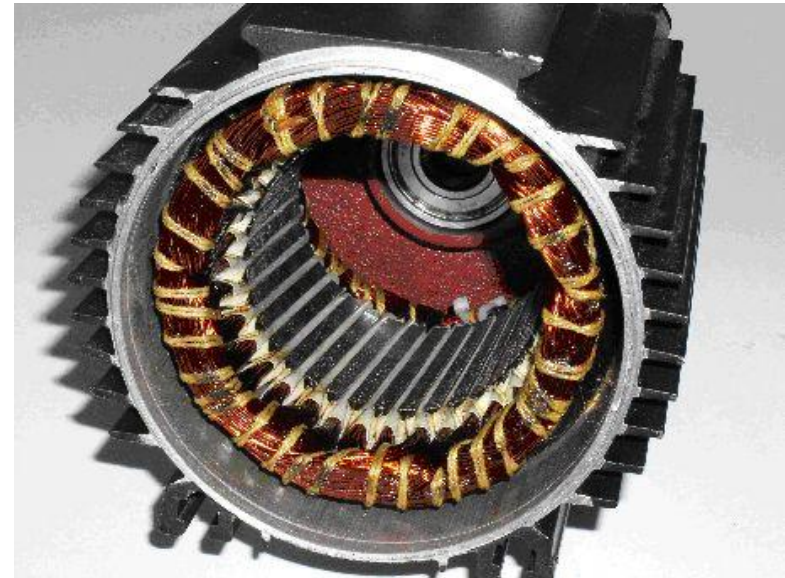
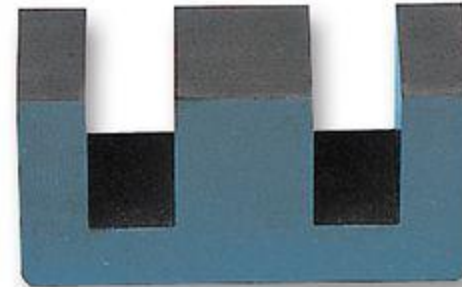
Problem Type	Planar
Length Units	Millimeters
Frequency (Hz)	1
Depth	1000
Solver Precision	1e-008
Min Angle	30
AC Solver	Succ. Approx

Comment

Example Induction Motor
50 Hz, 3kw, 380 V

OK Cancel

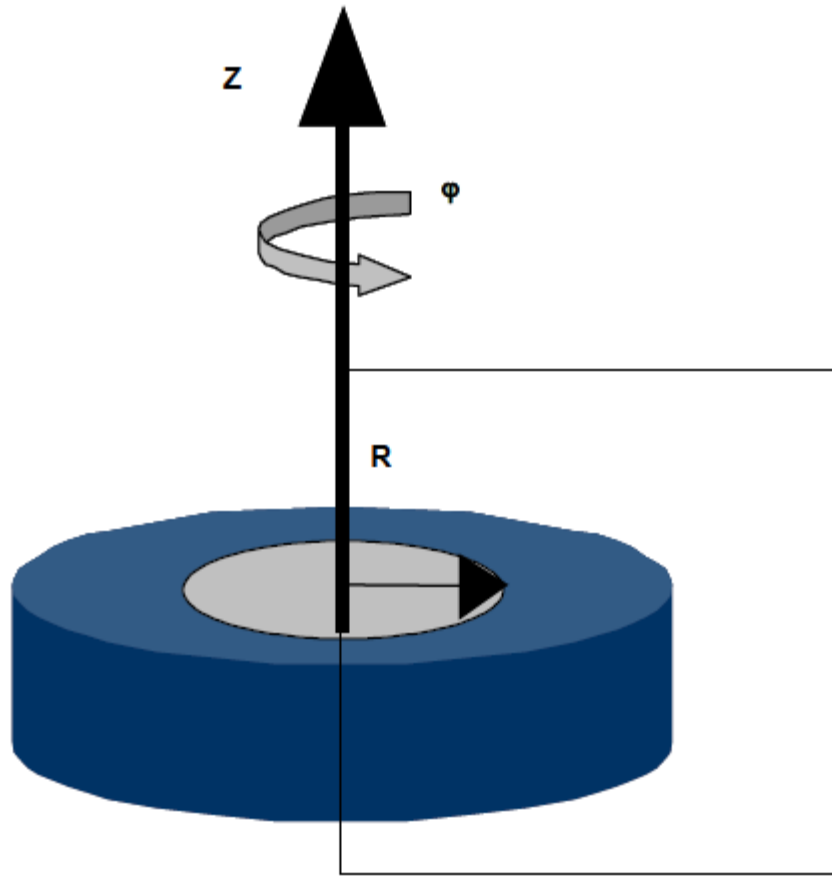
FEMM



PLANARNE

FEMM

Sprowadzanie problemu 3D do 2D



OSIOWOSYMETRYCZNE

Problem Definition ✖

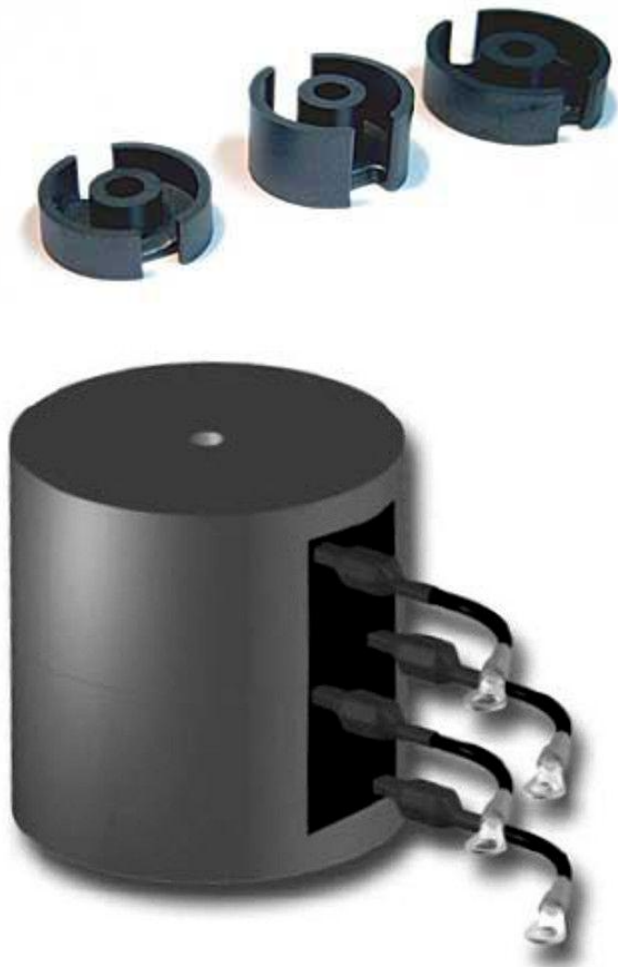
Problem Type	Axisymmetric ▾
Length Units	Millimeters ▾
Frequency (Hz)	0
Depth	1
Solver Precision	1e-008
Min Angle	30
AC Solver	Succ. Approx ▾

Comment

Dławik kubkowy|

OK Cancel

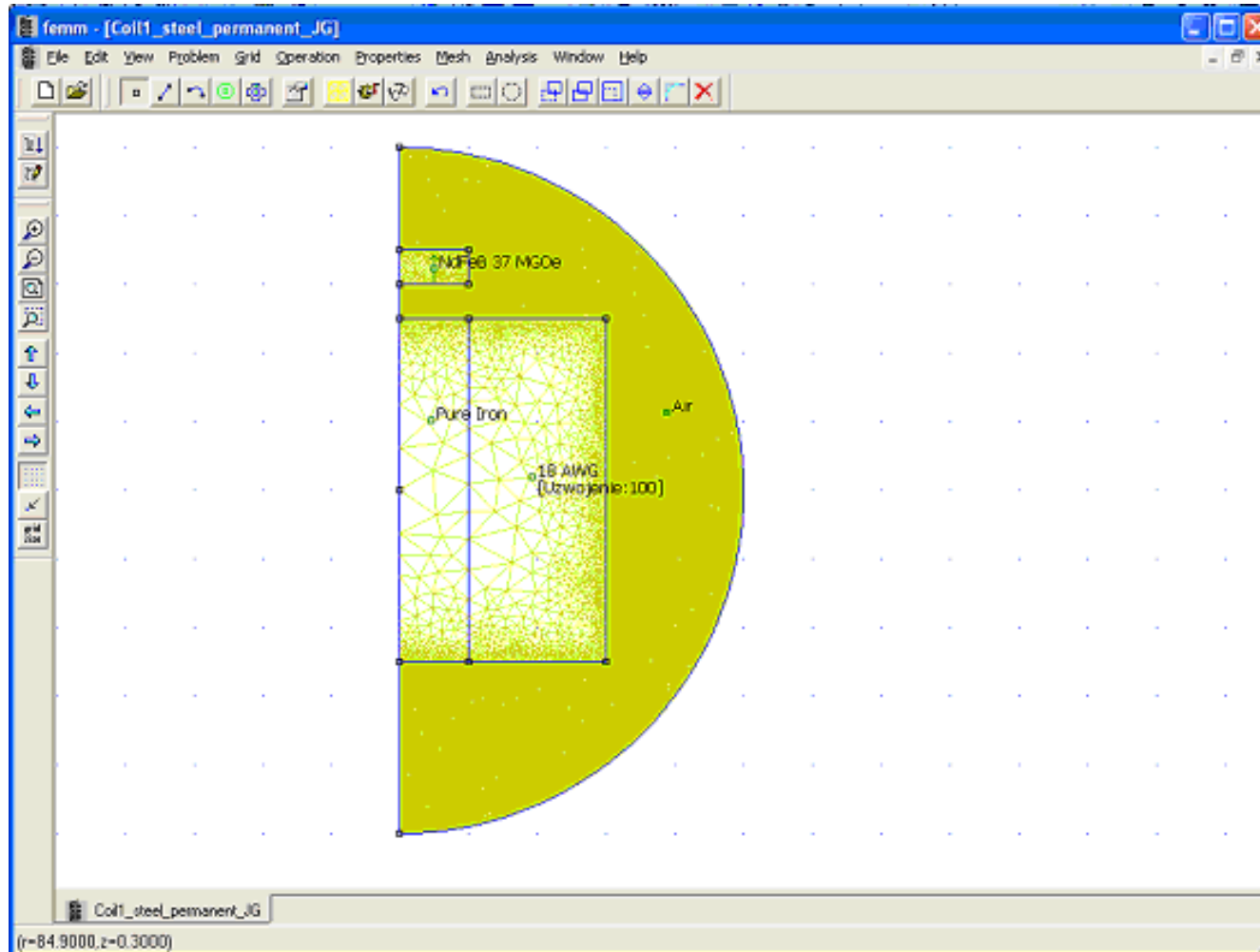
FEMM



OSIOWOSYMETRYCZNE

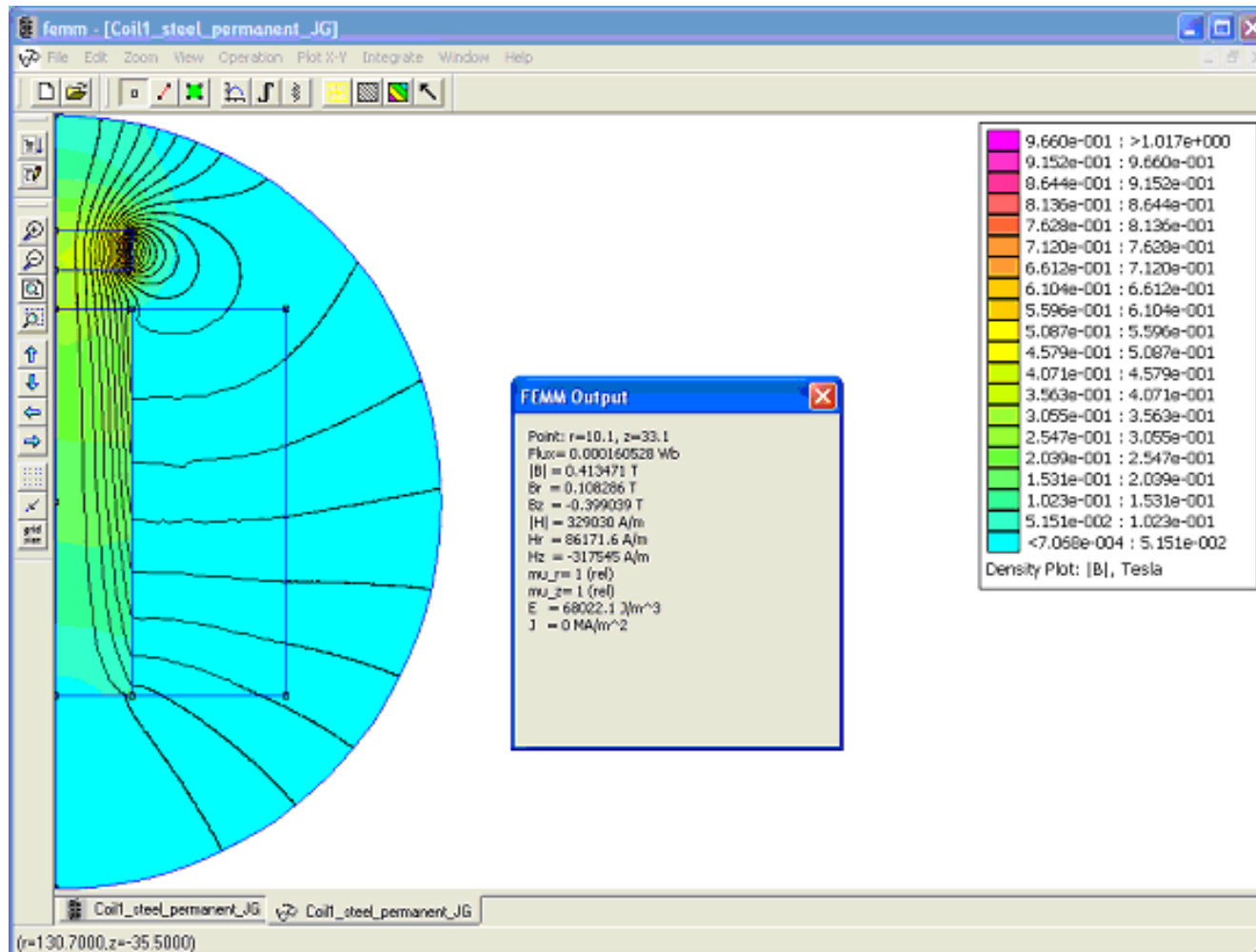
FEMM

Generowanie siatki elementów skończonych



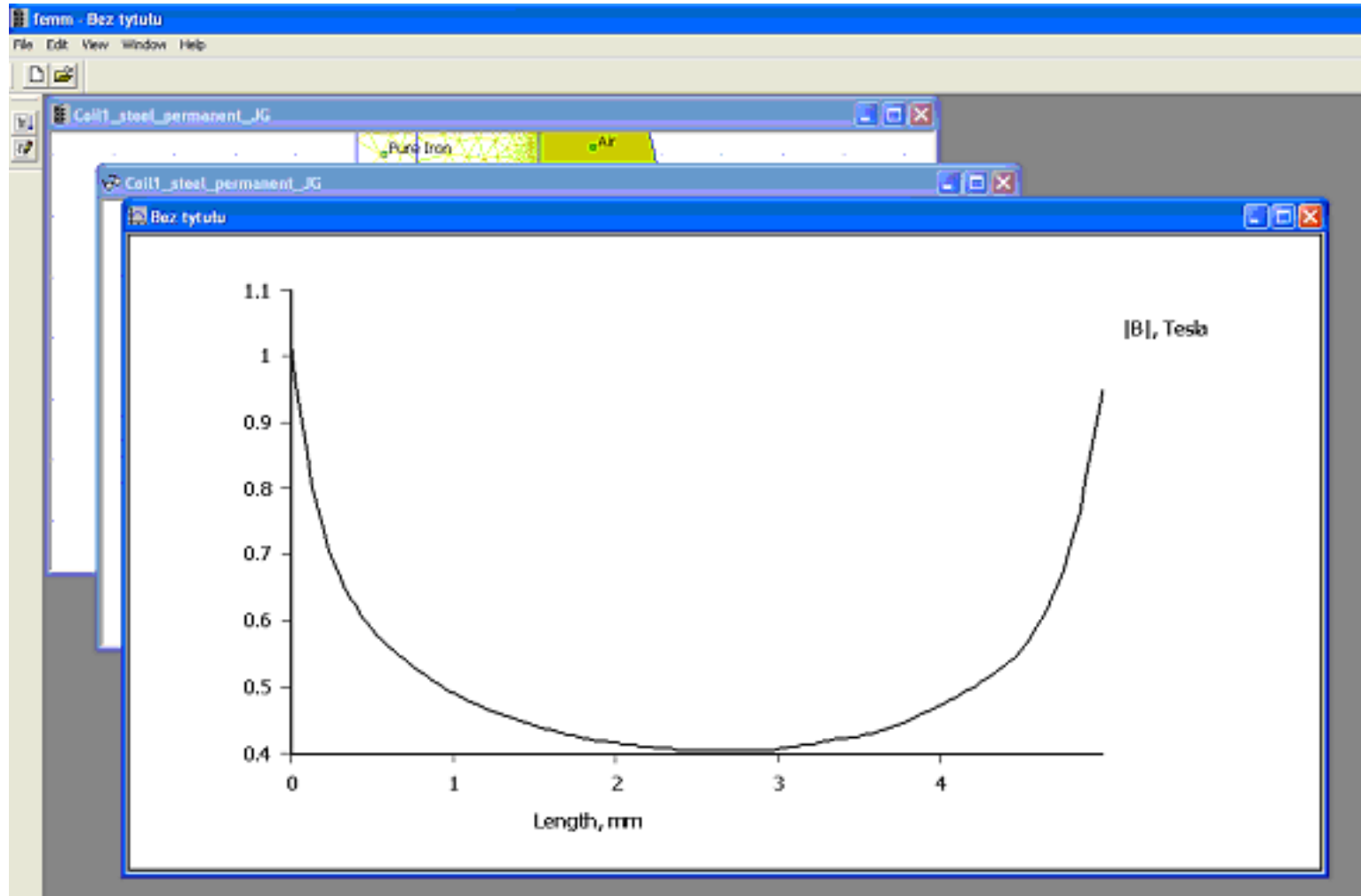
FEMM

Obliczanie rozkładu pola magnetycznego

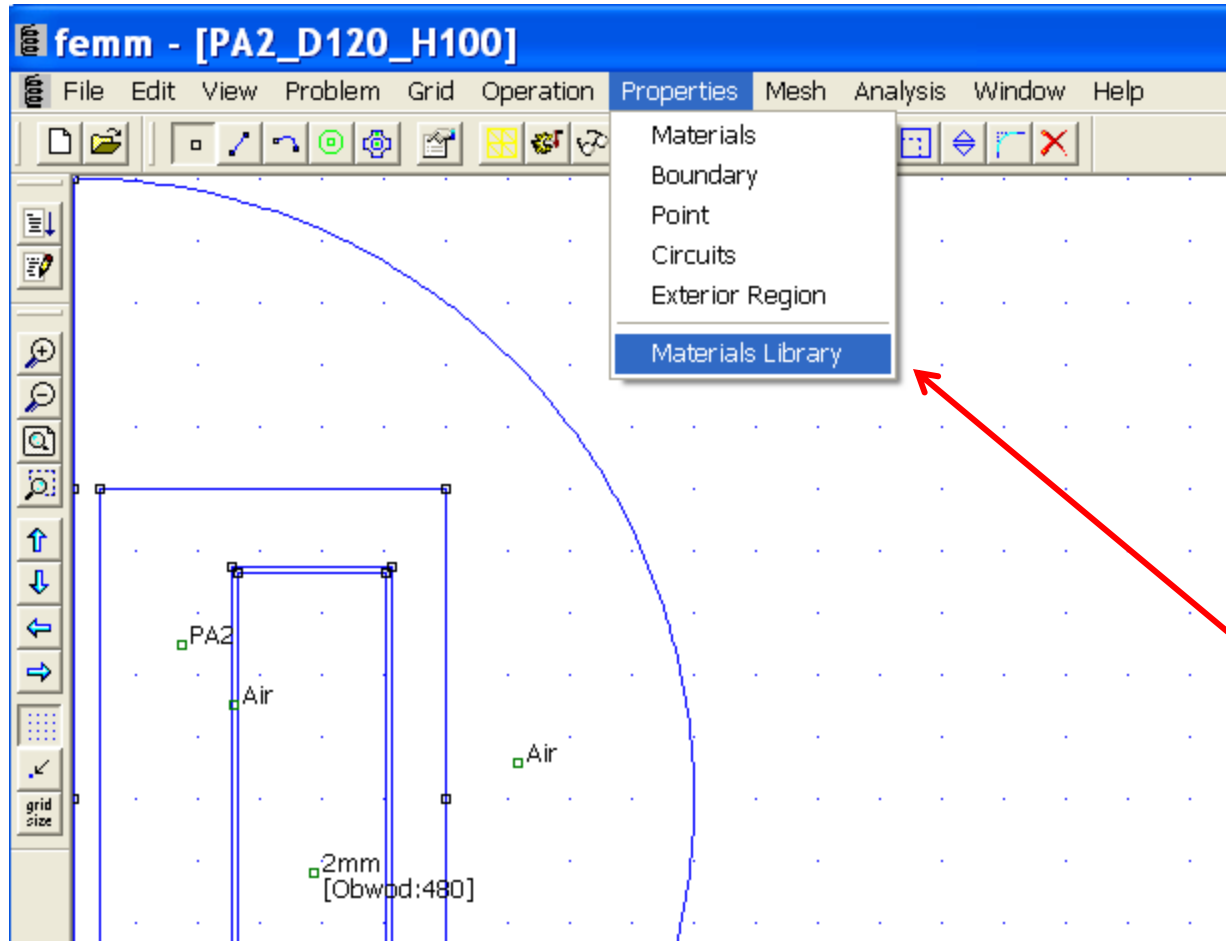


FEMM

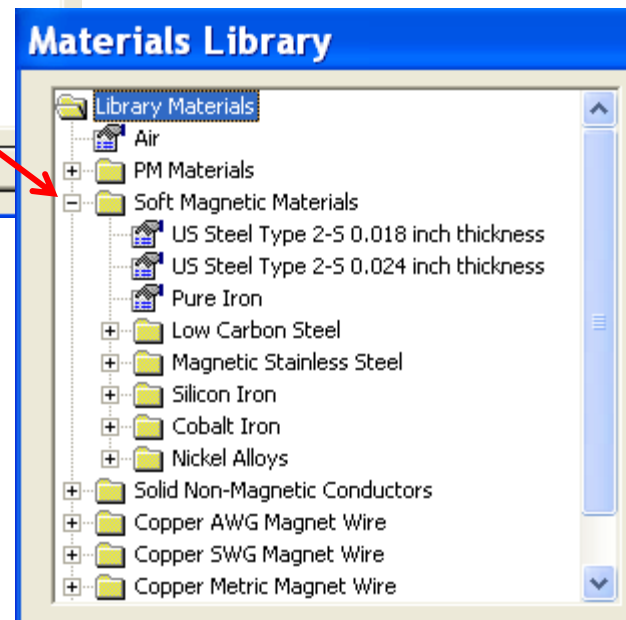
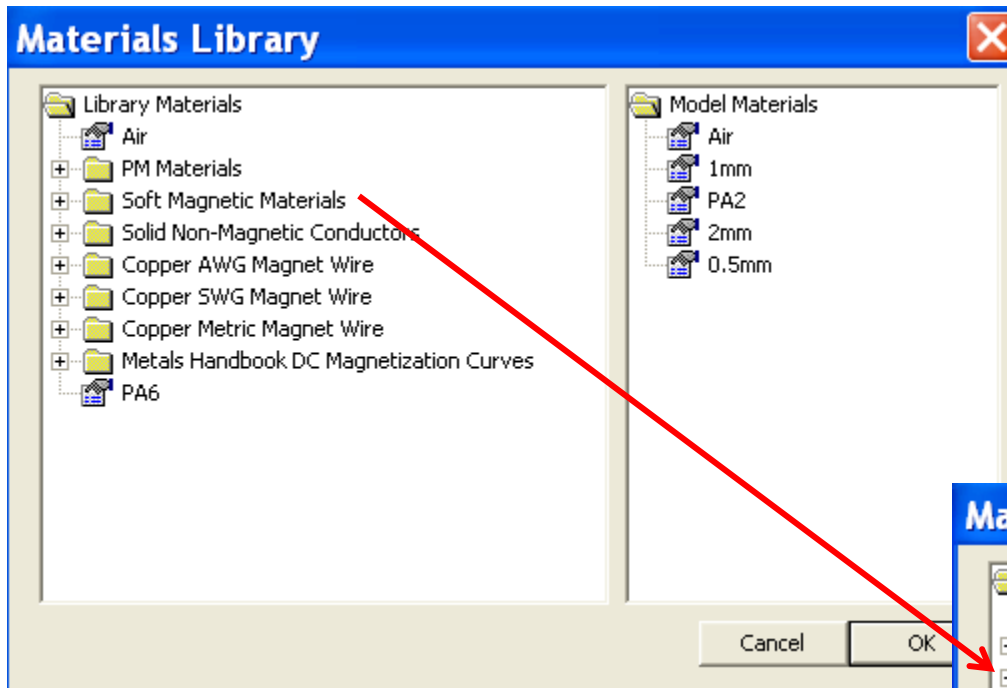
Rozkład indukcji



Materiały w programie FEMM



Materialy w programie FEMM



Materialy w programie FEMM

Block Property ✕

Name:

B-H Curve:

Linear Material Properties

Relative μ_r	<input type="text" value="14872"/>	Relative μ_z	<input type="text" value="14872"/>
ϕ_{hr} , deg	<input type="text" value="0"/>	ϕ_{hz} , deg	<input type="text" value="0"/>

Nonlinear Material Properties

ϕ_{hmax} , deg

Coercivity

H_c , A/m

Electrical Conductivity

σ , MS/m

Source Current Density

J, MA/m²

Special Attributes: Lamination & Wire Type

Lam thickness, mm	<input type="text" value="0"/>	Lam fill factor	<input type="text" value="1"/>
Number of strands	<input type="text" value="0"/>	Strand dia, mm	<input type="text" value="0"/>

B-H Curve:

Linear Material Properties

Relative μ_r	<input type="text" value="14872"/>	Relative μ_z	<input type="text" value="14872"/>
------------------	------------------------------------	------------------	------------------------------------

B-H Curve Data

B-H Curve for:
Pure Iron

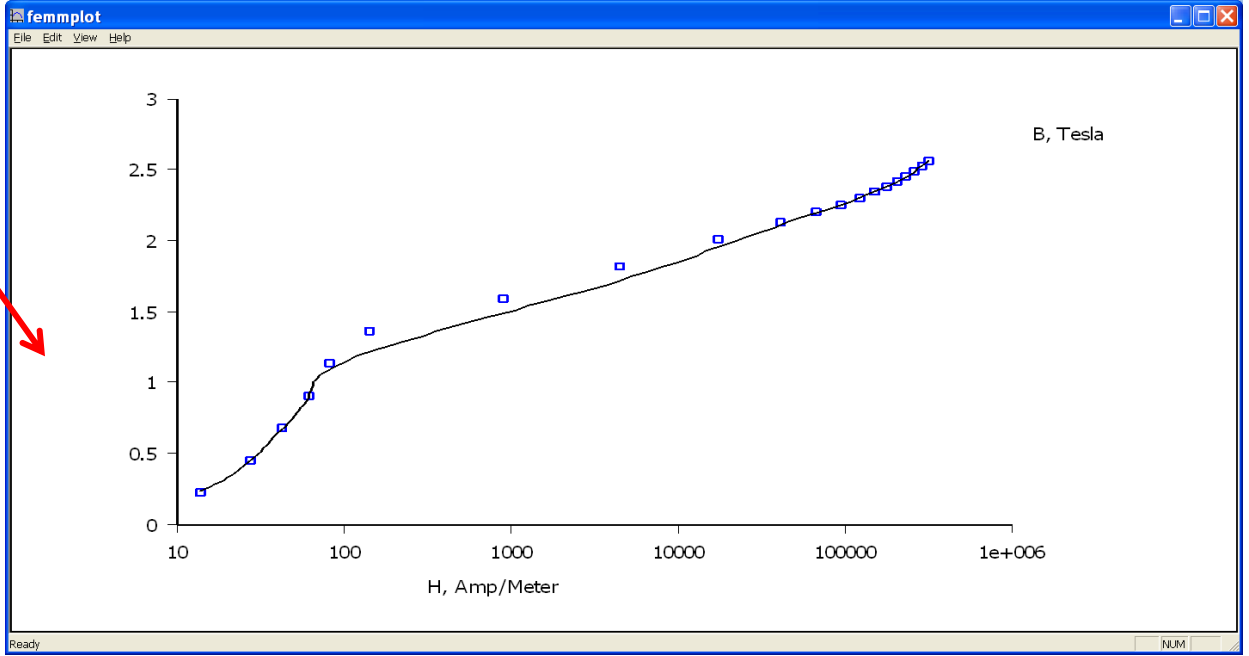
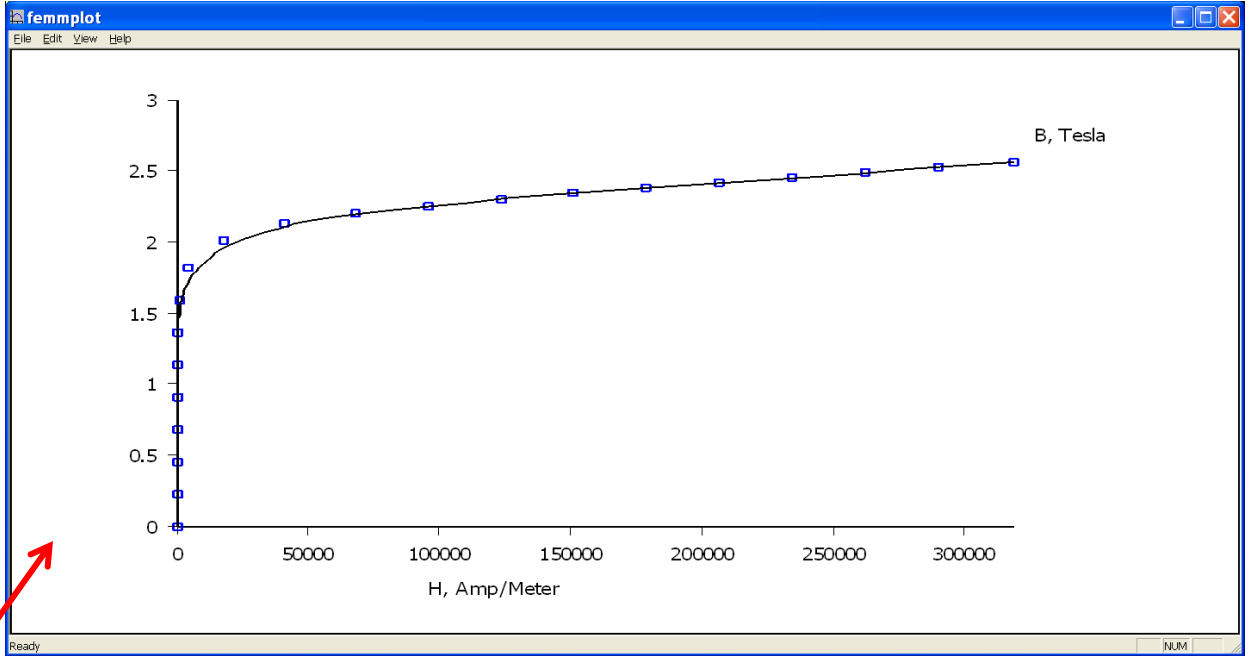
B, Tesla	H, Amp/m
0.000000	0.000000
0.227065	13.898400
0.454130	27.796700
0.681195	42.397400
0.908260	61.415700
1.135330	82.382400
1.362390	144.669000
1.589350	897.760000
1.812360	4581.740000

Plot B-H Curve

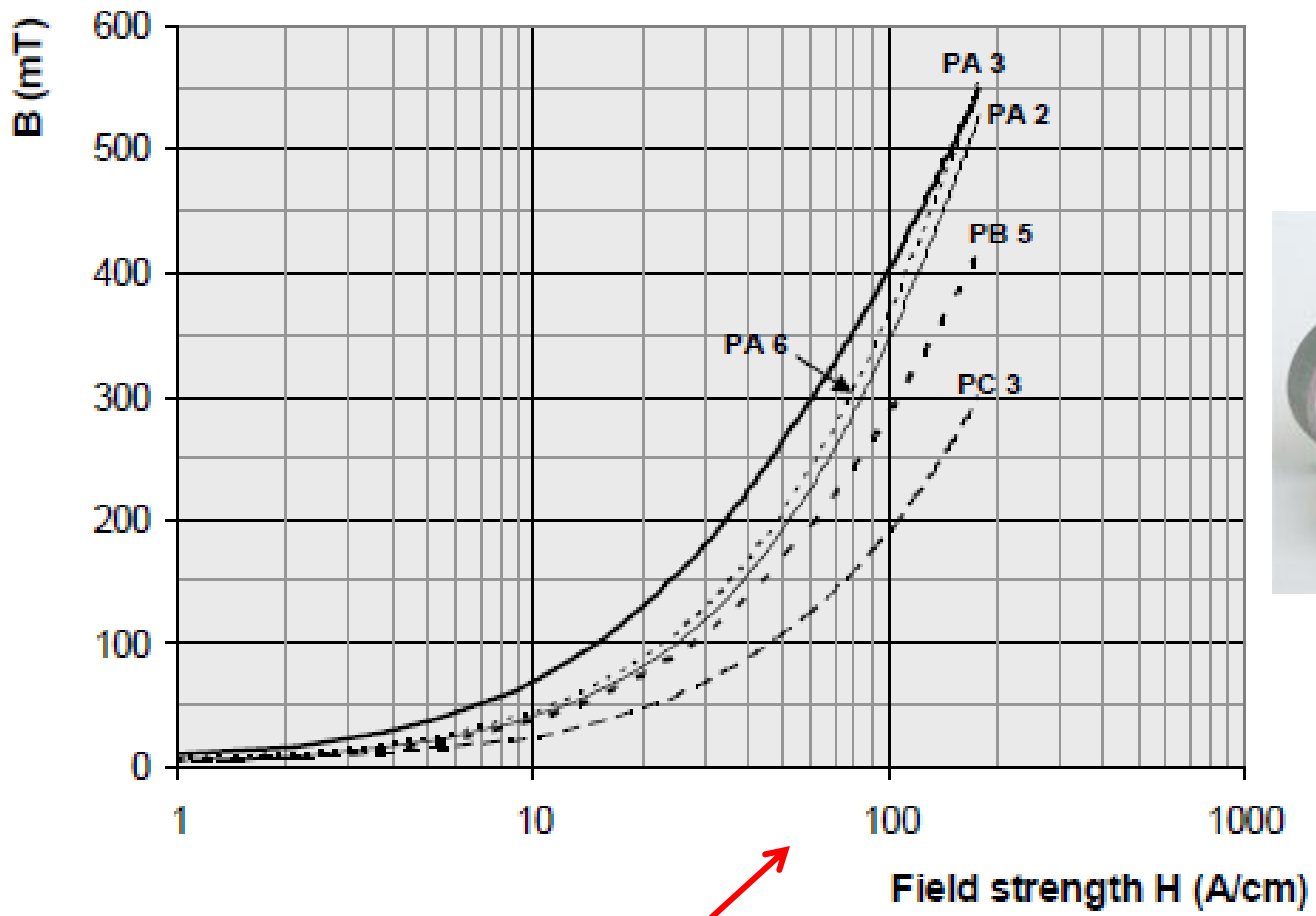
Log Plot B-H Curve

Read B-H points from text file

OK Cancel

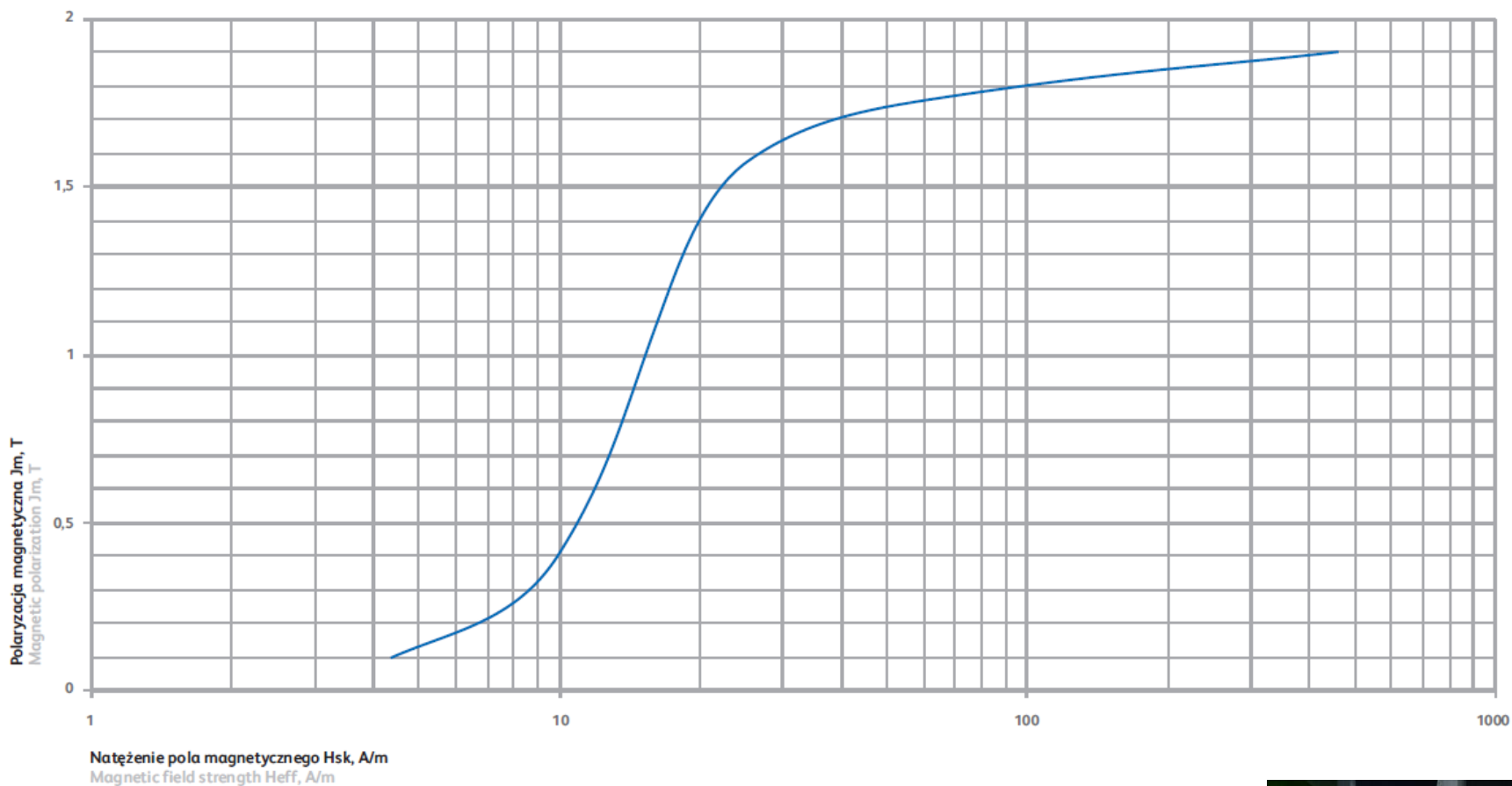


Magnetization characteristics



Skala logarytmiczna

Charakterystyka magnesowania $J_m = f(H_{sk})$ dla gatunku ET 110-23
 Magnetization characteristic $J_m = f(H_{eff})$ for grade ET 110-23

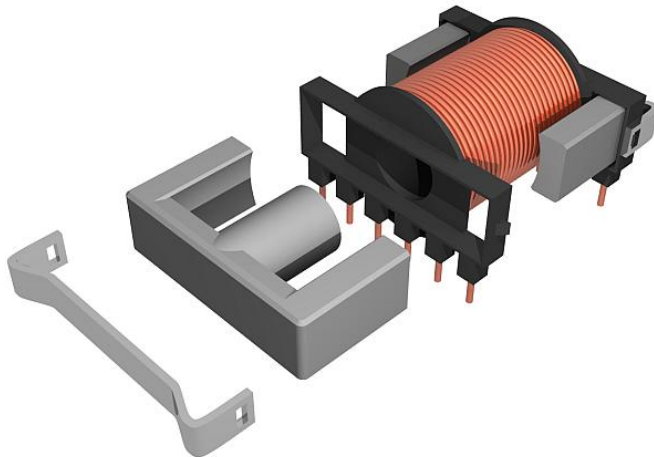
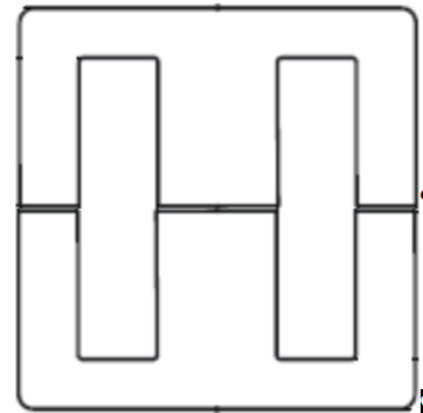
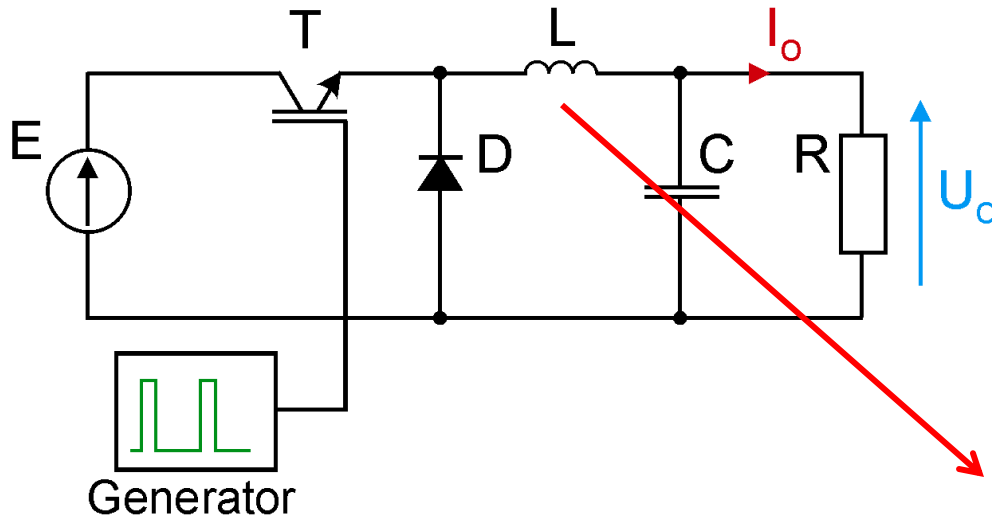


Indukcja magnetyczna B
 polaryzacja magnetyczna J

$$T = \text{Wb/m}^2 = \text{Vs/m}^2$$



Materiały w programie FEMM



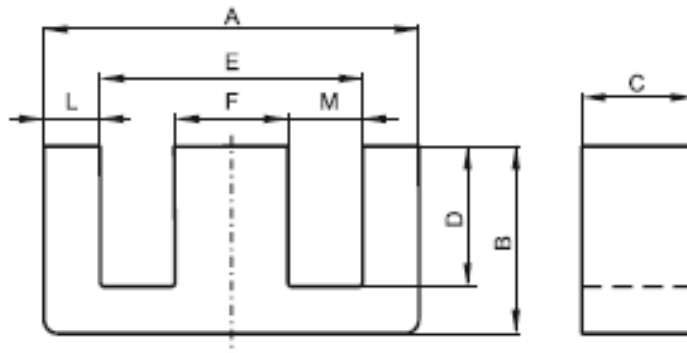


Specification for:

0P44011EC

110 Delta Drive
 Pittsburgh, PA 15238
 Phone: 412/696-1333
 Fax: 412/696-0333
 Email: magnetics@spang.com

DIMENSIONS



(mm)	Nominal:	Tol. min.:	Tol. max.:
A	40.01	-0.51	+ 0.51
B	17.0	-0.31	+ 0.31
C	10.69	-0.31	+ 0.31
D	10.0 Min.		
E	27.6 Min.		
F	10.7	-0.31	+ 0.31
L	5.99	-0.25	+ 0.25
M	8.86 Nom.		
Eff. Parameters			
Ae mm ²	Amin mm ²	le mm	Ve mm ³
127.0	114.0	76.7	9780

INDUCTANCE

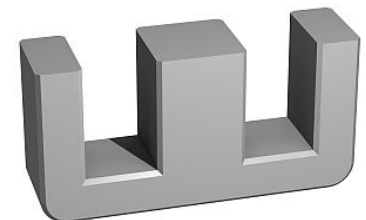
AL value (nH)	Test conditions
Nom: 4347 Min.: 3260	10 kHz, < 0.5 mT, 25 °C

MARKING

P EC

CORE LOSSES

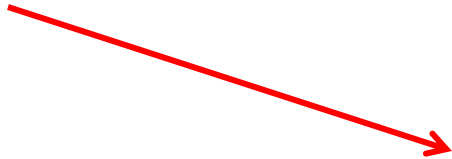
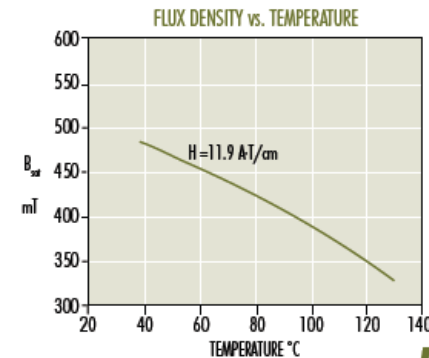
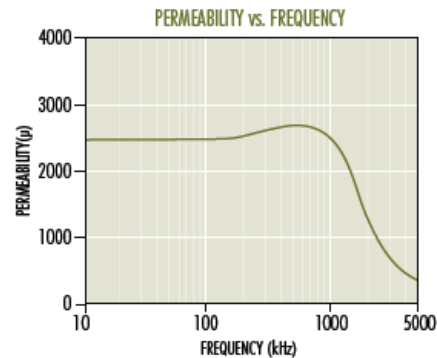
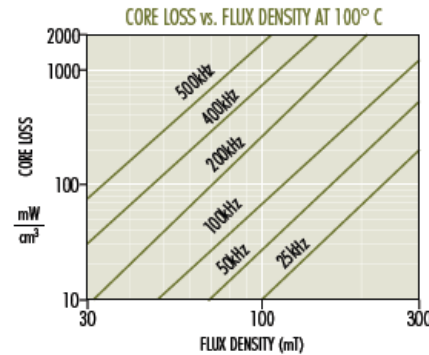
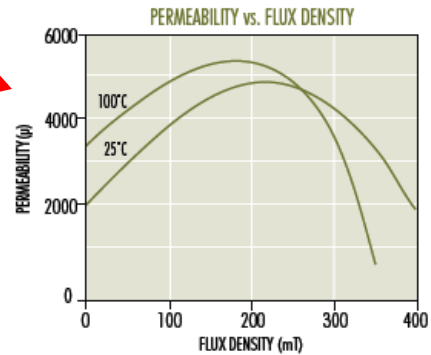
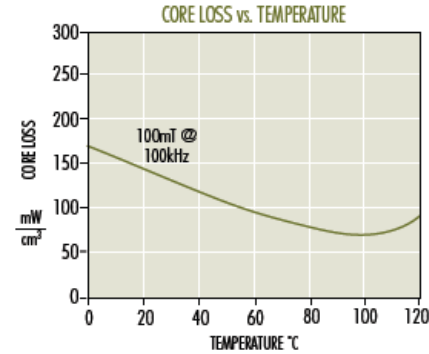
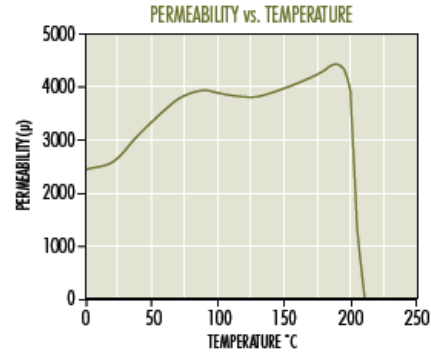
P _i max	Test conditions
120 mW/cm ³ (1.17 W/set)	100 kHz, 100 mT, 100 °C

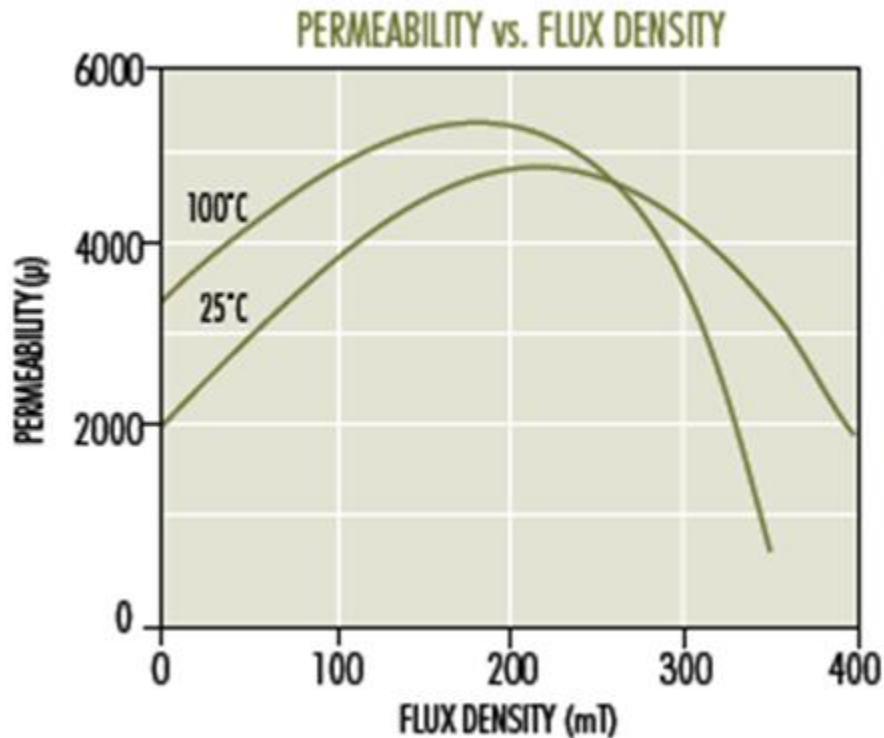


P Material

A low-medium frequency general-purpose power converter material. Engineered for lowest losses at 95°C. Available in almost all core sizes and shapes.

Initial Perm (10kHz) $2,500 \pm 25\%$
 Saturation Flux Density (4,700 G at 15 Oe, 25°C) 470 mT, 11.9 AT/cm
 Curie Temperature 210°C





Przenikalność magnetyczna μ podana na tej charakterystyce jest to przenikalność rewersyjna μ_{rev} (ang. *reversible permability*):

$$\mu_{rev} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta B}{\Delta H}$$

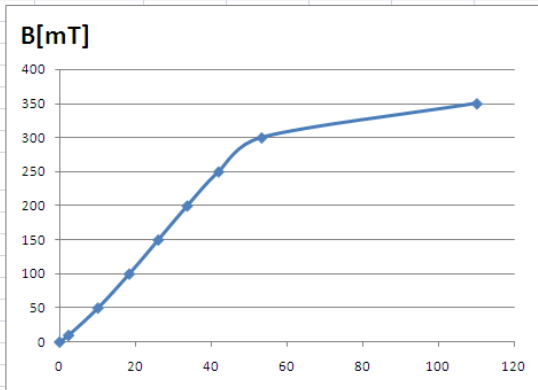
gdzie $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ H/m to przenikalność magnetyczna próżni

Na podstawie charakterystyki $\mu_{rev}(B)$ podanej przez producenta można wyznaczyć odpowiadającą jej charakterystykę $B(H)$ i wprowadzić ją w programie FEMM.

Przy wyznaczeniu $B(H)$ wygodnie jest skorzystać z arkusza obliczeniowego EXCEL.

Charakterystyka dla 100 Celsjusza

mT B	Permeability mi_rev	T B	T deltaB	mi_0 H/m	A/m deltaH	A/m H	mT B
0	3300	0		1.26E-06		0	0
10	3350	0.01	0.01	1.26E-06	2.375447	2.375447	10
50	4100	0.05	0.04	1.26E-06	7.763656	10.1391	50
100	4800	0.1	0.05	1.26E-06	8.28932	18.42842	100
150	5200	0.15	0.05	1.26E-06	7.65168	26.0801	150
200	5200	0.2	0.05	1.26E-06	7.65168	33.73178	200
250	4800	0.25	0.05	1.26E-06	8.28932	42.0211	250
300	3500	0.3	0.05	1.26E-06	11.36821	53.38931	300
350	700	0.35	0.05	1.26E-06	56.84105	110.2304	350



UWAGA: w FEMM wprowadzić B(H) w Teslach i Amperach/metr

$$\mu_{rev} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta B}{\Delta H}$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

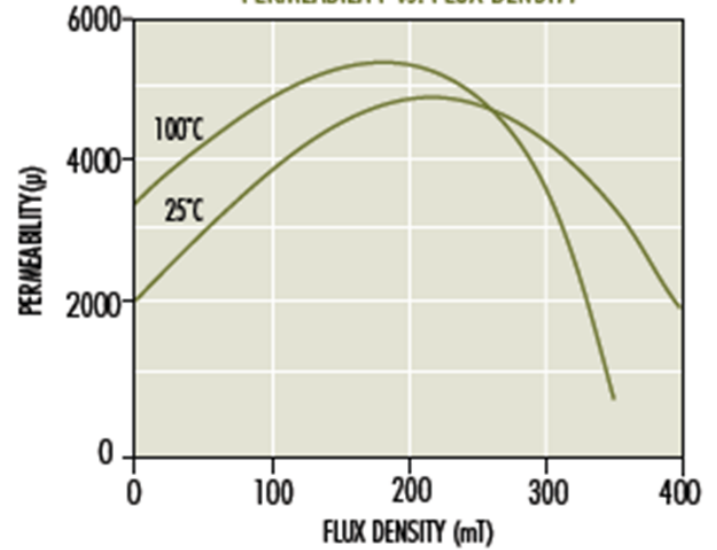


P Material

A low-medium frequency general-purpose power converter material. Engineered for lowest losses at 95°C. Available in almost all core sizes and shapes.

Initial Perm (10kHz) 2,500 ± 25%
 Saturation Flux Density (4,700 G at 15 Oe, 25°C) 470 mT, 11.9 A-T/cm
 Curie Temperature 210°C

PERMEABILITY vs. FLUX DENSITY





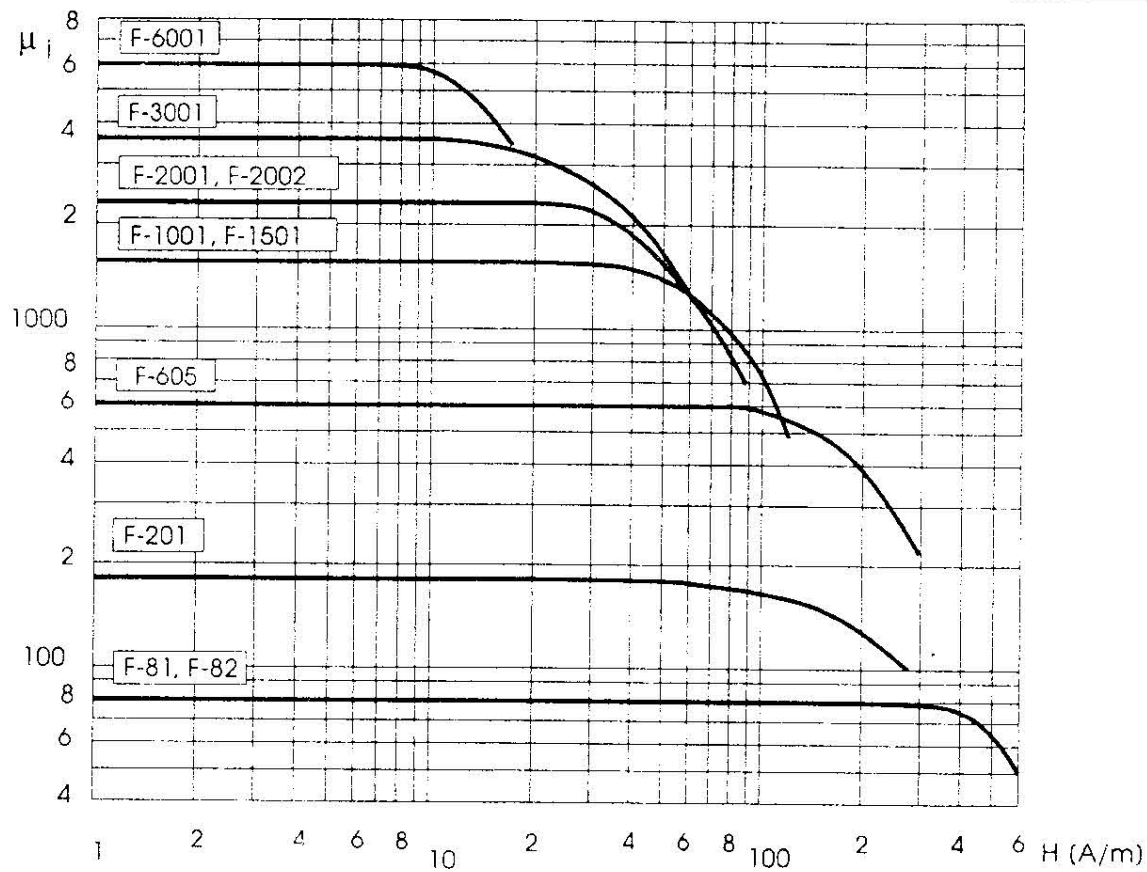
Własności materiałów używanych w otwartych obwodach magnetycznych

Properties of materials used in open magnetic circuits

Własności, warunki pomiarowe	Symbol, jednostka	Oznaczenie FERROXYDu FERROXYD code											
		U-6 ⁽¹⁾⁽²⁾	U-11 ⁽²⁾	F-12 ⁽¹⁾	U-12 ⁽²⁾	F-24 ⁽¹⁾	F-33	U-31 ⁽²⁾	F-81	F-82	F-201	F-605	F-1001
Przenikalność początkowa Initial permeability $f \leq 10 \text{ kHz}, B \leq 0.1 \text{ mT}$ $T = 25^\circ\text{C}$	μ	8 $\pm 20\%$	10 $\pm 20\%$	10 $\pm 20\%$	14 $\pm 20\%$	25 $\pm 20\%$	30 $\pm 20\%$	30 $\pm 20\%$	80 $\pm 20\%$	80 $\pm 20\%$	220 $\pm 20\%$	600 $\pm 20\%$	1500 $\pm 20\%$
Współczynnik temperaturowy Temperature factor $20-60^\circ\text{C}, f \leq 10 \text{ kHz}$ $B \leq 0.1 \text{ mT}$	α_μ $10^{-6}/\text{K}$	100 +300	0 +100	10 +60	10 +30	2 +10	100 +200	0 +50	20 +80	1 +6	5 +16	0.5 +2.5	0.5 +3
Względny współczynnik strat Relative loss constant, $T = 25^\circ\text{C}$ /przy f w MHz /at f in MHz	$\text{tg} \delta / \mu$ 10^{-6}	2000 /100	120 /10	100 /10	300 /10	200 /10	300 /10	100 /10	100 /10	120 /10	30 /1	6 /0.1	3 /0.1
Temperatura Curie Curie point	T_C $^\circ\text{C}$	250	500	500	500	450	400	450	240	350	150	200	150
Oporność dla prądu stałego DC resistivity	ρ Ωm	10^4	10^4	10^4	10^4	10^4	10^5	10^4	10^5	10^4	10^5	1	1

Własności, warunki pomiarowe Properties, measuring conditions	Symbol, jednostka Symbol, unit	Oznaczenie FERROXYDU FERROXYD code												
		U-11 ²⁾	F-12 ¹⁾	F-24 ¹⁾	U-31 ²⁾	F-82	F-605	F-804	F-810	F-1501	F-2001	F-2002	F-3001	
Przenikalność początkowa Initial permeability $f \leq 10\text{kHz}$, $B_s \leq 0.1\text{ mT}$, 25°C	μ	10 $\pm 20\%$	10 $\pm 20\%$	25 $\pm 20\%$	30 $\pm 20\%$	80 $\pm 20\%$	600 $\pm 20\%$	900 $\pm 20\%$	320 $\pm 20\%$	1500 $\pm 20\%$	2200 $\pm 20\%$	2200 $\pm 20\%$	3500 $\pm 20\%$	
Współczynnik temperaturowy Temperature factor, $20-60^\circ\text{C}$, $f \leq 10\text{kHz}$, $B_s \leq 0.1\text{ mT}$	α $10^{-6}/\text{K}$	0 +100	10 +60	2 +10	0 +50	1 +6	0.5 +2.5	-	-	0.8 -1.8	0 -2.5	0.5 -1.5	1	
Względny współczynnik strat Relative loss constant, $T=25^\circ\text{C}$ / przy f w MHz / at f in MHz	$\text{tg}\delta/\mu$ 10^{-6}	120 /10	100 /10	200 /10	100 /10	120 /10	6 /0.1	-	-	4 /0.1	4 /0.1	4 /0.1	6 /0.1	
Współczynnik histerezy materiału Hysteresis material constant	η_B $10^{-6}/\text{mT}$	-	-	-	-	35	1.8	-	-	1.4	1.5	0.9	1.3	
Częstotliwość maksymalna Maximal frequency	f_{max} MHz	500	500	200	180	60	6	-	-	3	2.5	2.5	1.2	
Współczynnik dezakomodacji Disaccommodation factor $T=25^\circ\text{C}$	DF 10^{-6}	-	-	-	-	-	12	-	-	5	4	3	4	
Indukcja maksymalna Flux density $H=3\text{kA/m}$, $T=25^\circ\text{C}$	B_m mT	-	50	170	-	320	380	350	250	360	370	370	370	
Indukcja remanencji Remanence, $T=25^\circ\text{C}$	B_r mT	-	-	-	-	200	190	-	160	100	80	80	60	
Natężenie powściągające Coercivity, $T=25^\circ\text{C}$	H_c A/m	1200	1200	1200	1200	400	100	30	50	30	20	20	15	
Temperatura Curie Curie point	T_C $^\circ\text{C}$	500	500	450	450	350	200	135	140	150	150	150	150	
Oporność dla prądu stałego DC resistivity	ρ Ωm	10^4	10^4	10^4	10^4	10^4	1	1	10^6	1	1	1	1	
Kształty rdzeni Core shapes		pierścieniowe rings				pierścieniowe kubkowe rings, pot cores			RZO Yoke- cores		pierście- niowe rings		RM	pierście- niowe rings, X

kubkowe, pot cores



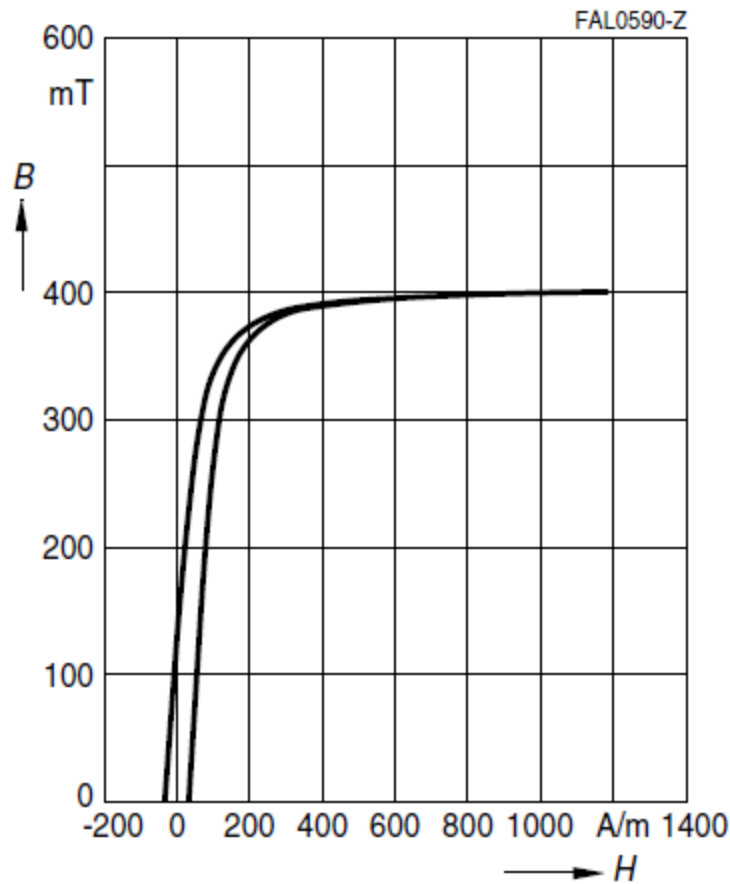
Rys. 2. Przenikalność rewersyjna FERROXYDów w funkcji natężenia pola magnetycznego stałego

Fig. 2. Reversible permeability of FERROXYDs versus magnetic field intensity

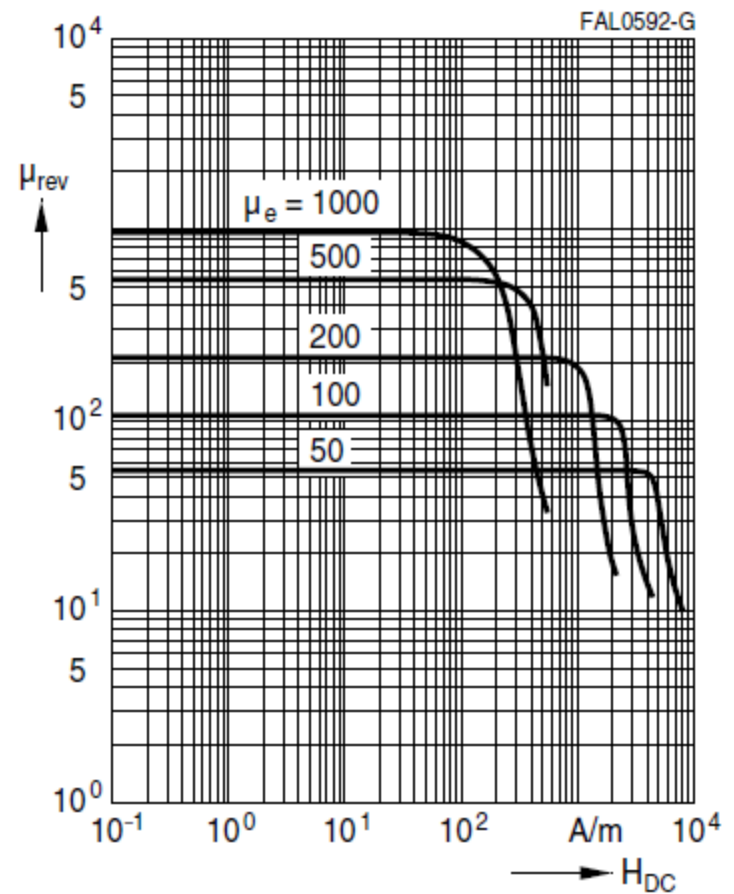
SIFERRIT materials

N49

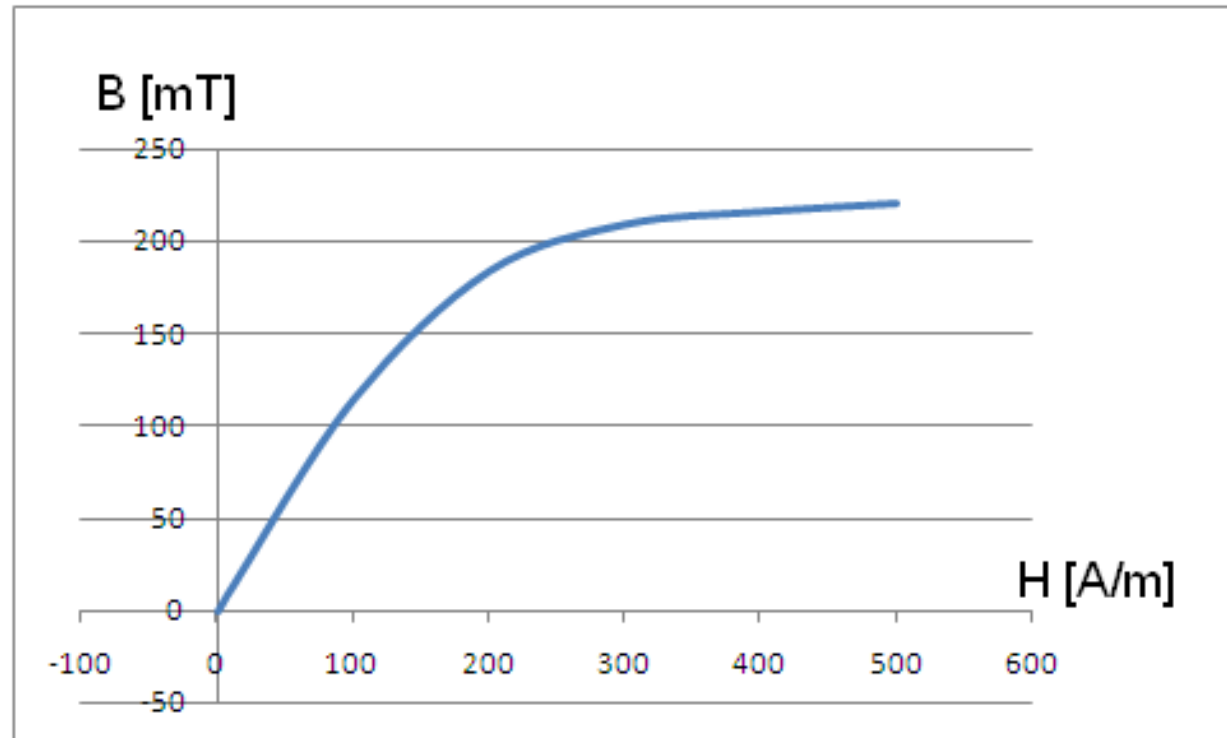
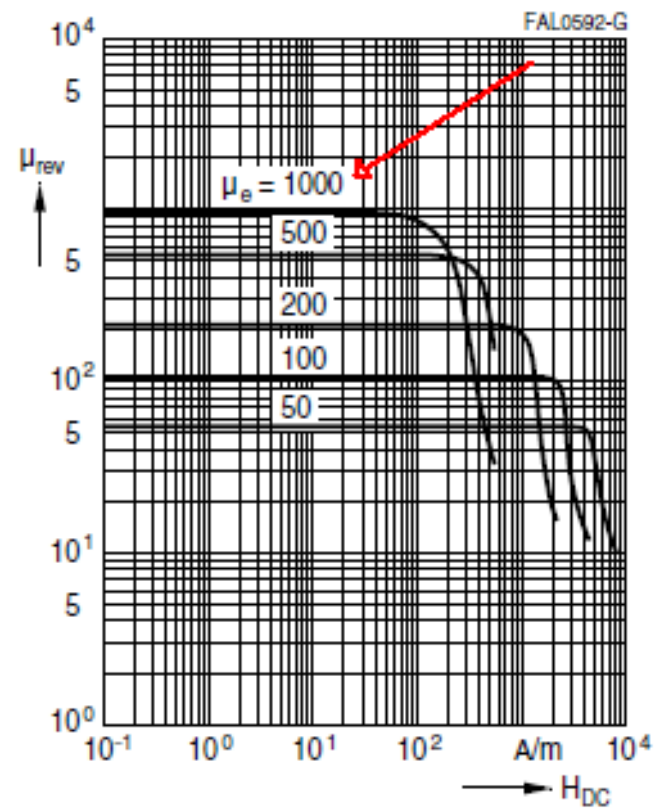
Dynamic magnetization curves
(typical values)
($f = 10 \text{ kHz}$, $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)



DC magnetic bias
measured on ETD cores
($\hat{B} \leq 0.25 \text{ mT}$, $f = 10 \text{ kHz}$, $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$)



DC magnetic bias
measured on ETD cores
($\hat{B} \leq 0.25$ mT, $f = 10$ kHz, $T = 100$ °C)



1.2 INCREMENTAL PERMEABILITY, μ_{Δ} , AND REVERSIBLE PERMEABILITY, μ_{rev}

Incremental permeability is determined by the following formula and is defined as the permeability of a material to a low AC magnetic field superposed on a larger DC magnetic field:

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta B}{\Delta H}$$

where, ΔB = incremental flux density(gauss)

ΔH = incremental field intensity(oersted)

Gaus !!!

Ersted !!!

Reversible permeability is defined as the limiting value of incremental permeability occurring at the zero amplitude of the alternating magnetic field. It is a function of the DC flux density B and takes the maximum value when B is the zero. Its value decreases as B increases.

Since the DC flux density varies with the core shape and also with the magnitude of the gap, it is not proper to apply a reversible permeability determined on a toroidal core to cores of other shapes such as E type, P type, etc. Hence, values of reversible permeability are determined separately for individual core shapes and gaps.

Gaus

Gaus (Gs) – jednostka indukcji magnetycznej w układzie CGS (jednostka przejściowo legalna w Układzie SI, ale niezalecana z uwagi na zbieżność symbolu z *gigasekundą*). Nazwa pochodzi od nazwiska niemieckiego fizyka Karola Gaussa.

Wymiar gausa

$$1 \text{ Gs} = 10^{-4} \text{ T}$$

1 tesla is equivalent to:

10,000 (or 10^4) G (gauss), used in the CGS system. Thus, 10 G = 1 mT (millitesla), and 1 G = 10^{-4} T.

1,000,000,000 (or 10^9) γ (gammas), used in geophysics. Thus, 1 γ = 1 nT (nanotesla)

Ersted

Oersted

W układzie SI natężenie pola magnetycznego wyraża się w amperach na metr.

$$1 \text{ Oe} = \frac{1000 \text{ A}}{4\pi \text{ m}} \approx 79,577 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

Ersted (skrót Oe) – jednostka natężenia pola magnetycznego w układzie CGS.

Jednostki !!!

Przenikalność względna maksymalna $\mu_r = f(J_m)$
 Relative peak permeability $\mu_r = f(J_m)$

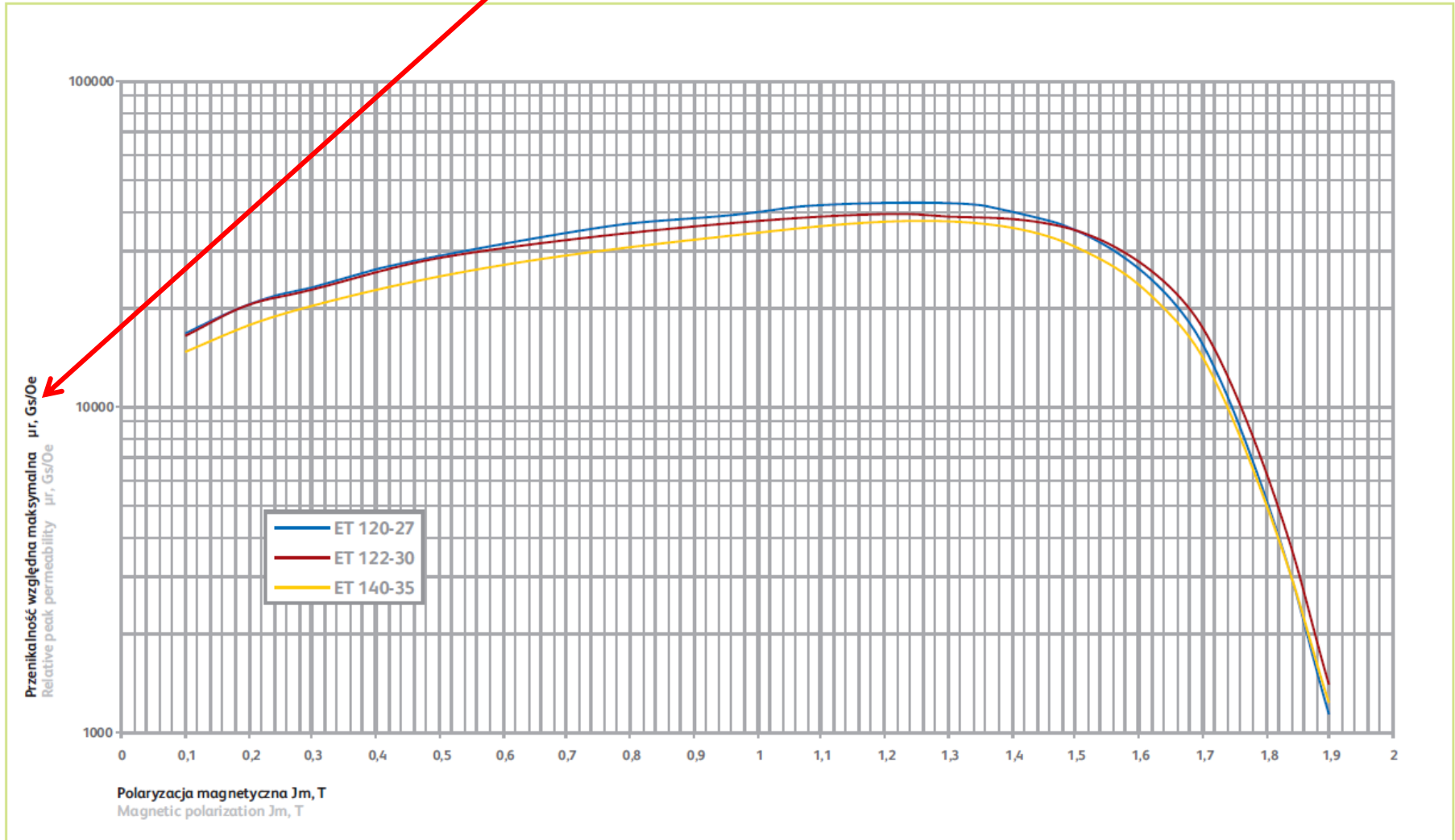
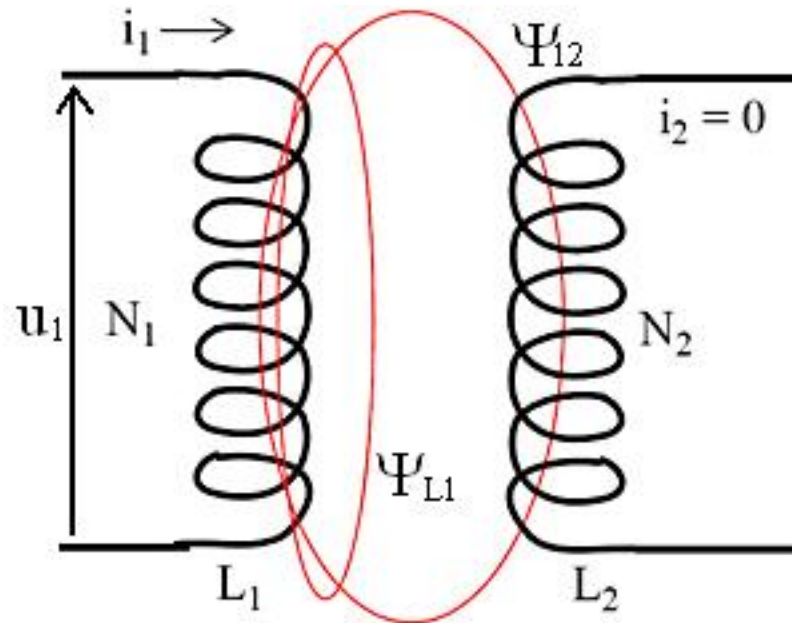


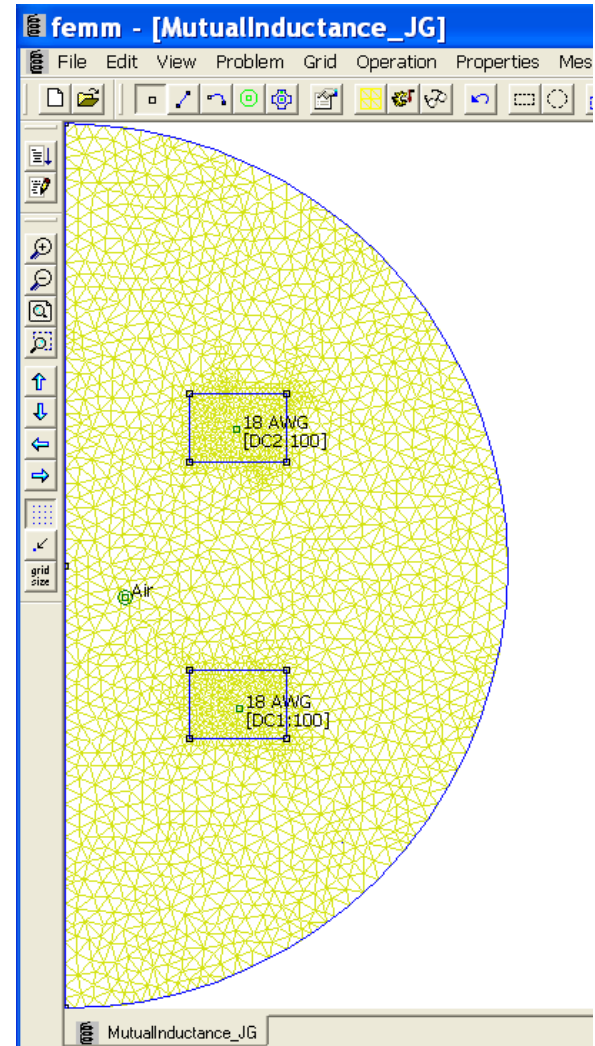
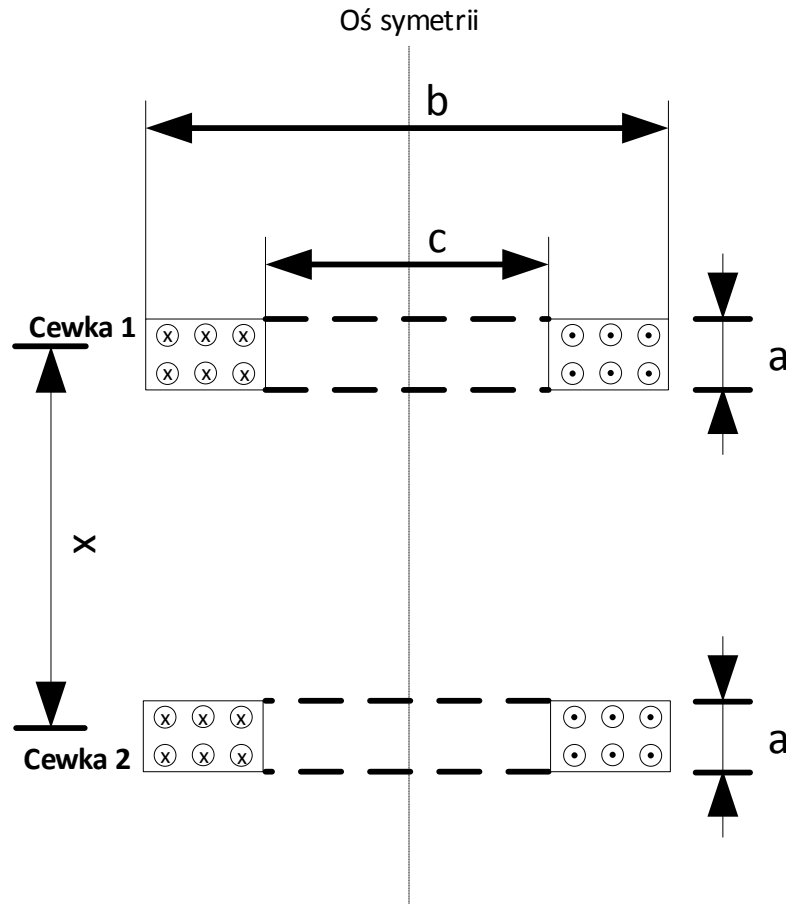
Tabela przeliczeniowa Conversion table of units

	w in	pomnożone to be multiplied by	wynik to obtain	
Indukcja magnetyczna B polaryzacja magnetyczna J	$T = \text{Wb}/\text{m}^2 = \text{Vs}/\text{m}^2$	10^4	$\text{Wb}/\text{cm}^2 = \text{Vs}/\text{cm}^2$	Magnetic flux density B resp. magnetic polarization J
	T	10^4	G	
	T	$6,45 \cdot 10^4$	Vs/cm^2	
	Vs/cm^2	10^4	T	
	G	10^4	T	
	linie/cal kwadratowy / lines/square inch	$1,55 \cdot 10^5$	T	
Natężenie pola magnetycznego H	A/m	0,01	A/cm	Magnetic field strength H
	A/m	0,01257	Oe	
	A/m	0,0254	Amperozwój/cal / Ampere-turns/inch	
	A/cm	100	A/m	
	Oe	79,6	A/m	
	Amperozwój/cal / Ampere-turns/inch	39,37	A/m	

Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM



Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM



Model osiowosymetryczny (*axisymmetric*)

Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM

$$L_m = \frac{n_2}{i_1 \cdot a_2} \left(\int_{J_2} A_1 dV_2 \right)$$

gdzie:

- n_2 – liczba zwojów cewki 2
- i_1 – prąd płynący przez cewkę 1
- a_2 – przekrój poprzeczny cewki 2
- $\int A_1 dV_2$ – całka objętościowa z potencjału wektorowego cewki 1

Model osiowoosymetryczny (*axisymmetric*)

Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM

The screenshot displays the FEMM software interface for a mutual inductance calculation. The main window shows a 2D axisymmetric magnetic field simulation with a green rectangular selection box. Two dialog boxes are open:

Integral Result

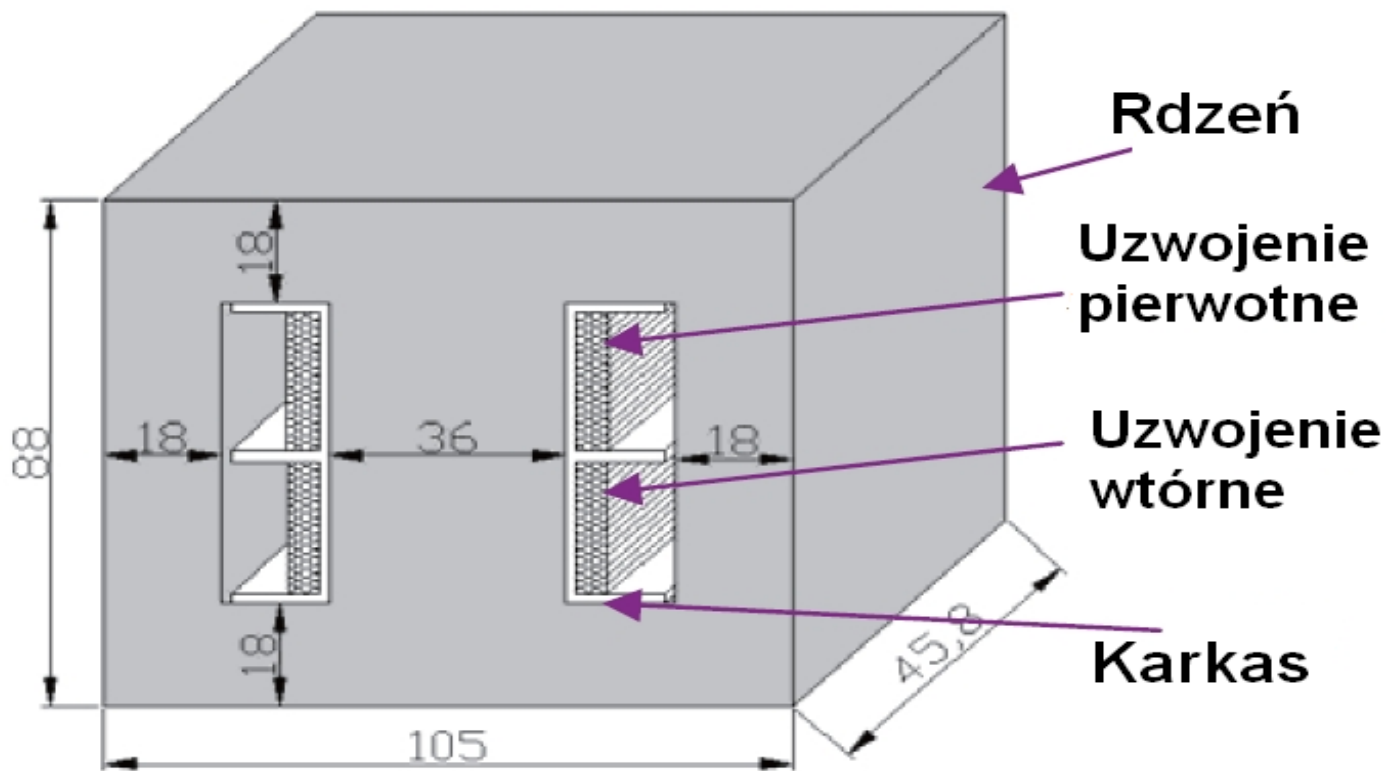
- Integral of A over selection:
1.45937e-009 Henry Amp meter²
- Integral of A / selected area:
1.66785e-006 Henry Amp

Block Integrals

- A . J
- A . J
- A**
- Magnetic field energy
- Hysteresis, Laminated eddy, or Proximity effect
- Resistive losses
- Block cross-section area
- Total losses
- Total current
- Integral of B over block
- Block volume
- Lorentz force ($\mathbf{J} \times \mathbf{B}$)
- Lorentz torque ($\mathbf{r} \times \mathbf{J} \times \mathbf{B}$)
- Magnetic field coenergy
- Force via Weighted Stress Tensor
- Torque via Weighted Stress Tensor
- R^2 (i.e. Moment of Inertia / Density)
- Total Loss Density

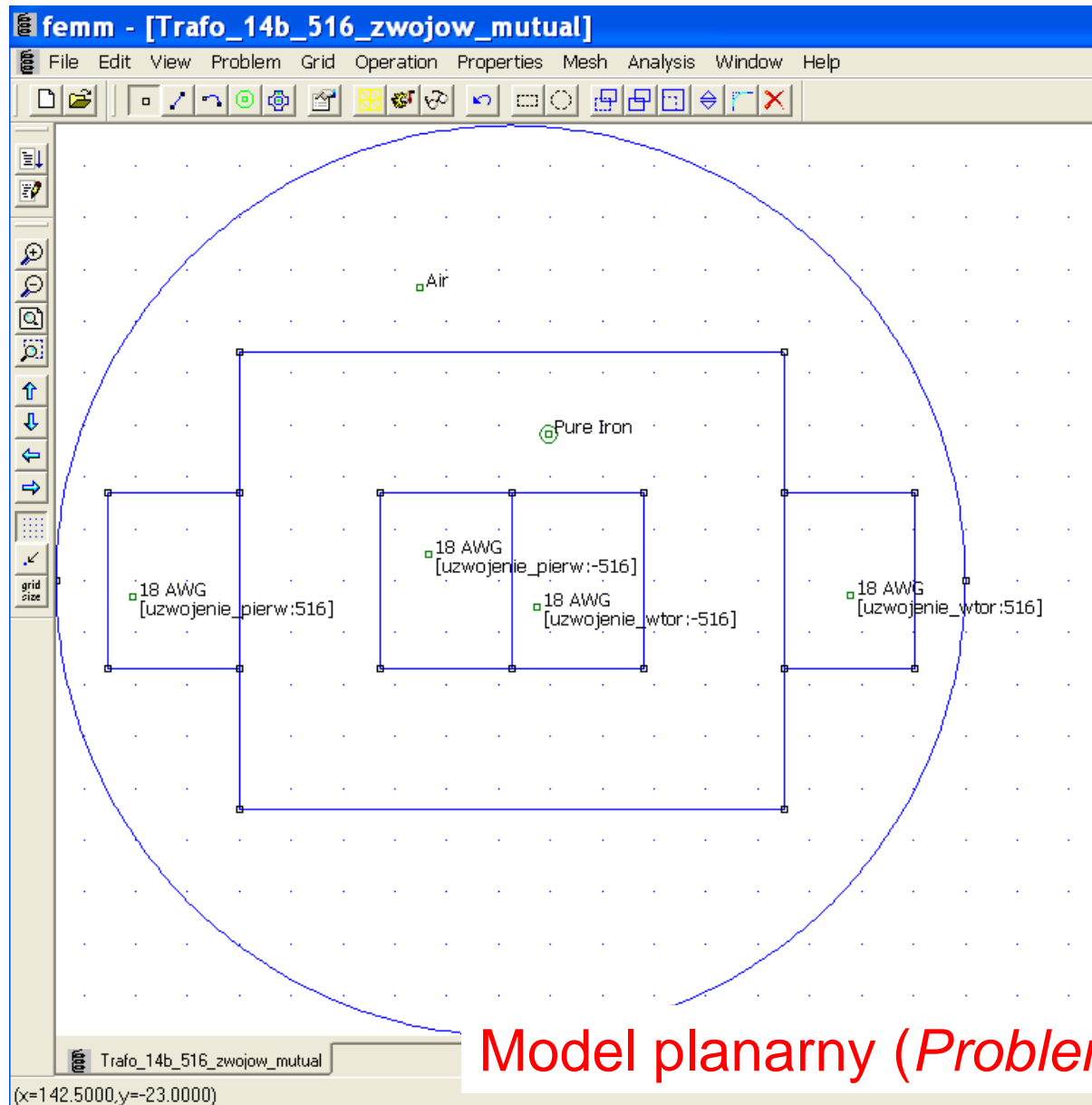
Model osiowosymetryczny (*axisymmetric*)

Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM



Model planarny (*Problem type: planar*)

Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM



Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM

$$L_m = \frac{n_2}{i_1 \cdot a_2} \left(\int_{J_{2+}} A_1 dV_2 - \int_{J_{2-}} A_1 dV_2 \right)$$

Całka obliczona jest dla obszaru cewki 2
z **dodatnim** kierunkiem nawijania zwojów

Całka obliczona jest dla obszaru cewki 2
z ujemnym kierunkiem nawijania zwojów

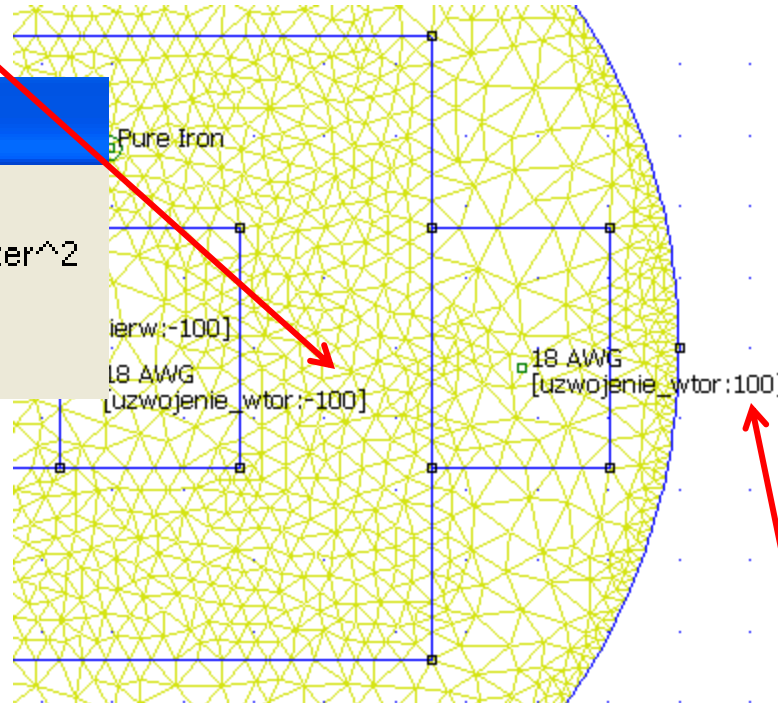
Model planarny (*Problem type: planar*)

Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM

Ujemny kierunek nawijania zwojów

Integral Result

Integral of A over selection:
-7.80382e-008 Henry Amp meter²
Integral of A / selected area:
-9.09881e-005 Henry Amp



Integral Result

Integral of A over selection:
-4.14899e-008 Henry Amp meter²
Integral of A / selected area:
-4.83749e-005 Henry Amp

Dodatni kierunek nawijania zwojów

Model planarny (*Problem type: planar*)

Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM

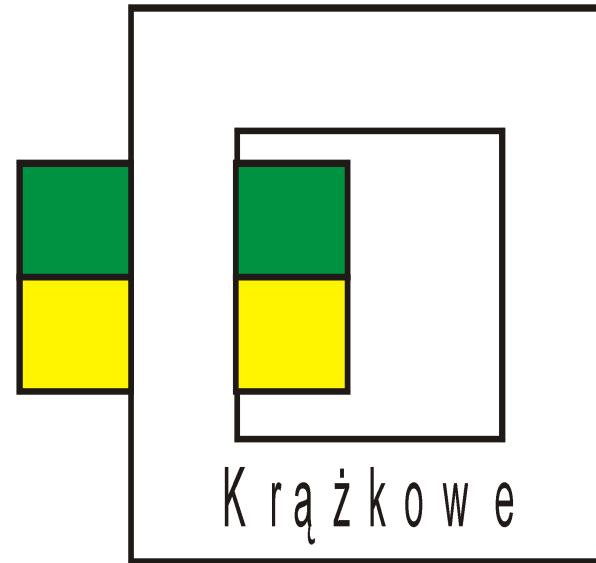
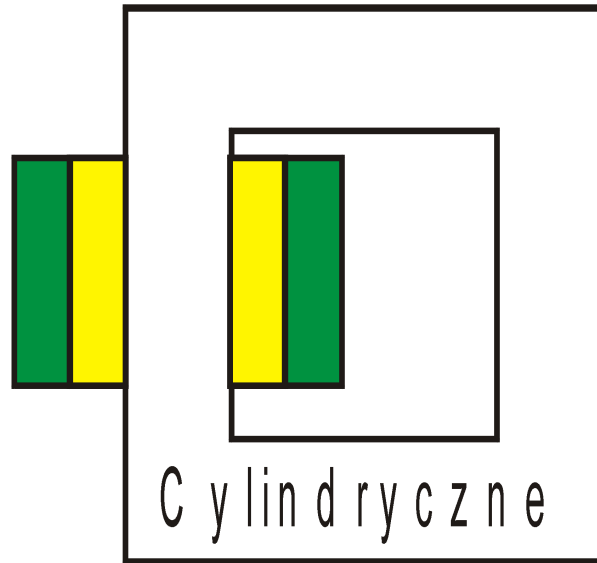
Jednofazowy transformator
separacyjny:
uzwojenia umieszczone
na różnych kolumnach



Model planarny (*Problem type: planar*)

Wyznaczenie indukcyjności wzajemnej w programie FEMM

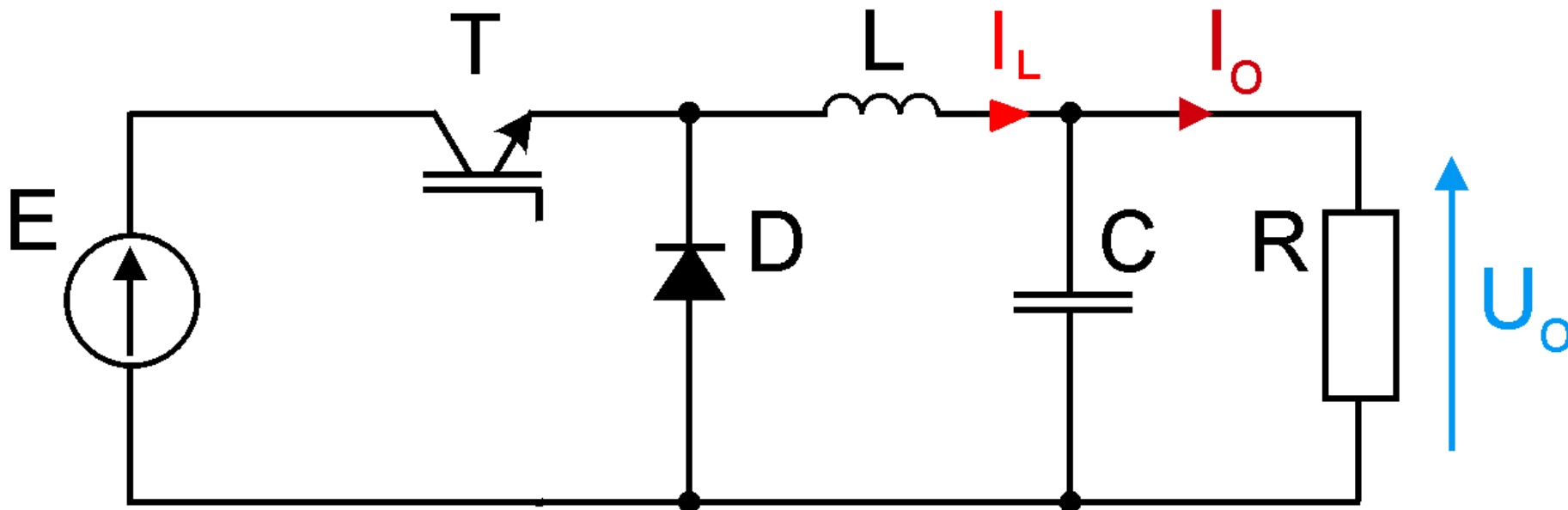
Sposoby rozmieszczania uzwojeń na wspólnej kolumnie



Model planarny (*Problem type: planar*)

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Przetwornica impulsowa obniżająca napięcie (ang. *Buck Converter*):

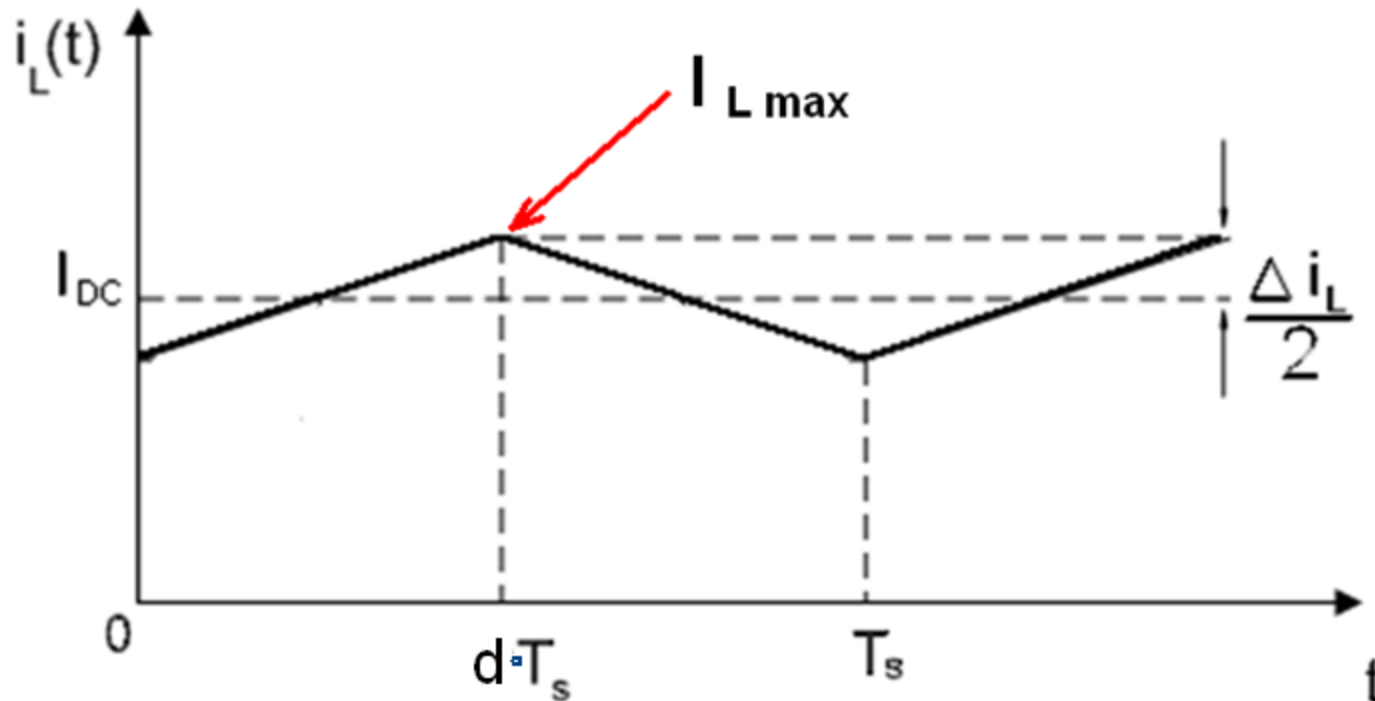


W celu zmniejszenia składowej przemiennego w wyprostowanym napięciu wyjściowym, stosuje się filtr LC. Dławik filtru musi mieć małą rezystancję dla prądu stałego i jak największą reaktancję dla prądu przemiennego.

$$U_0 = d \cdot E \quad d - \text{współczynnik wypełnienia impulsów}$$

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

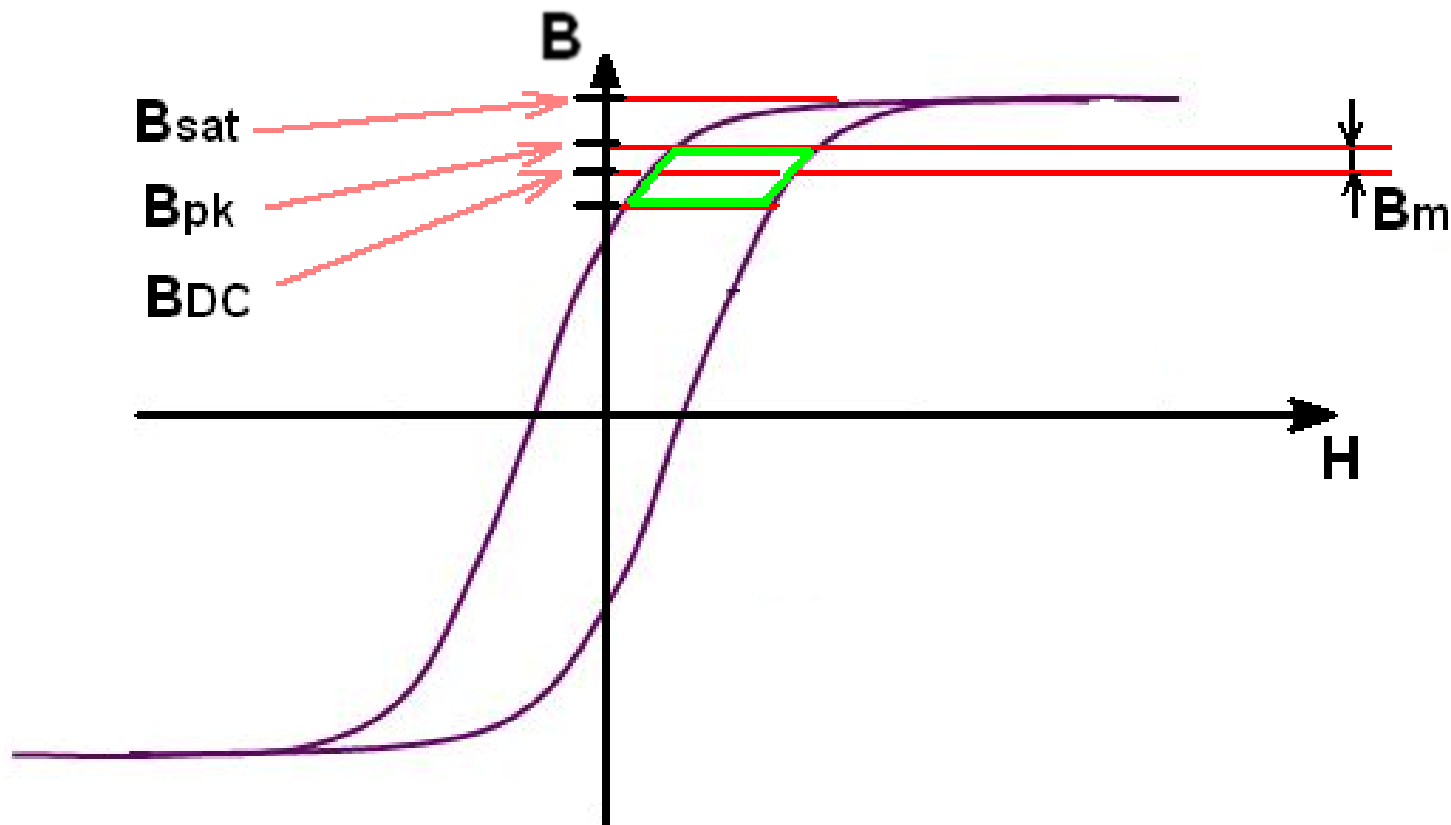
Prąd dławika ma składową stałą i składową zmienną:



$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Dławik pracuje ze składową stałą



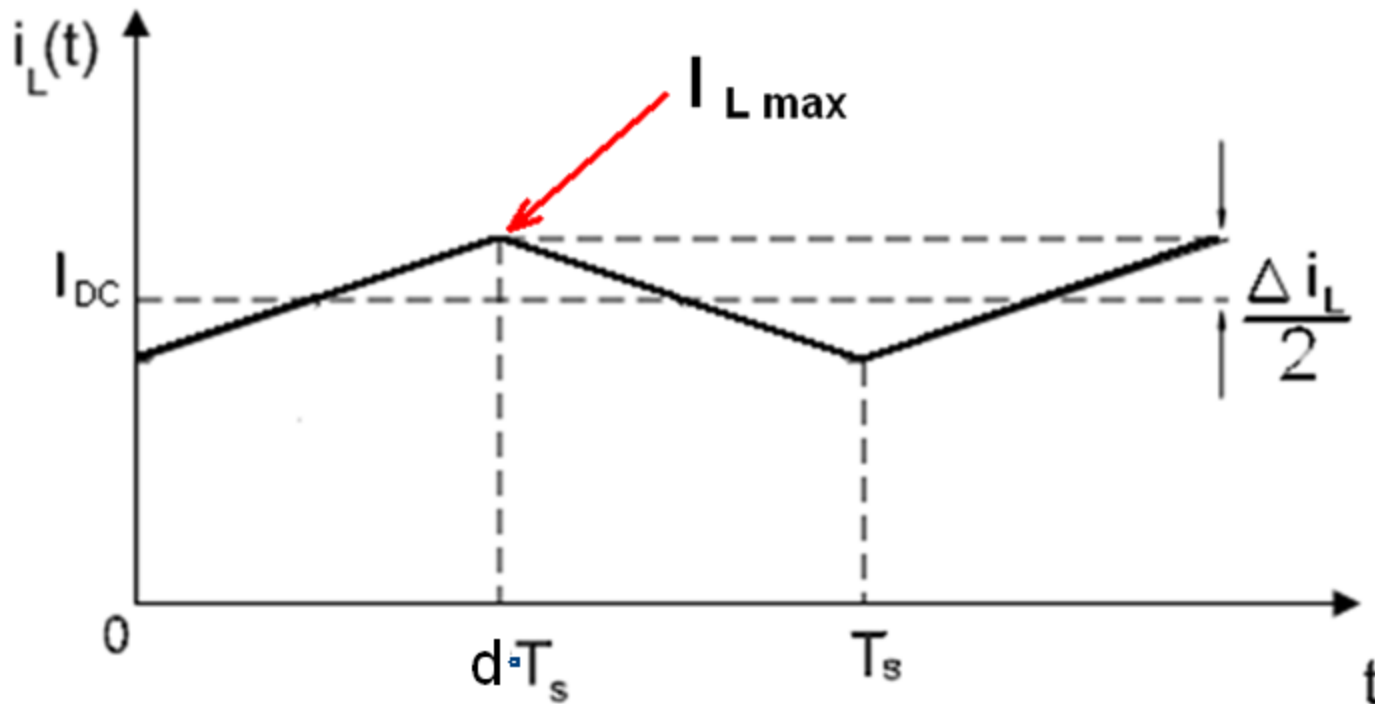
Zwykle napięcie przemienne dławika jest małe a więc amplituda składowej zmiennej indukcji jest również mała.

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Producent materiałów magnetycznych MAGNETICS podał nomogramy do doboru rdzeni:

- Dane wejściowe: indukcyjność i prąd maksymalny.
- Prąd maksymalny uwzględnia zarówno składową stałą jak i pulsacje prądu:

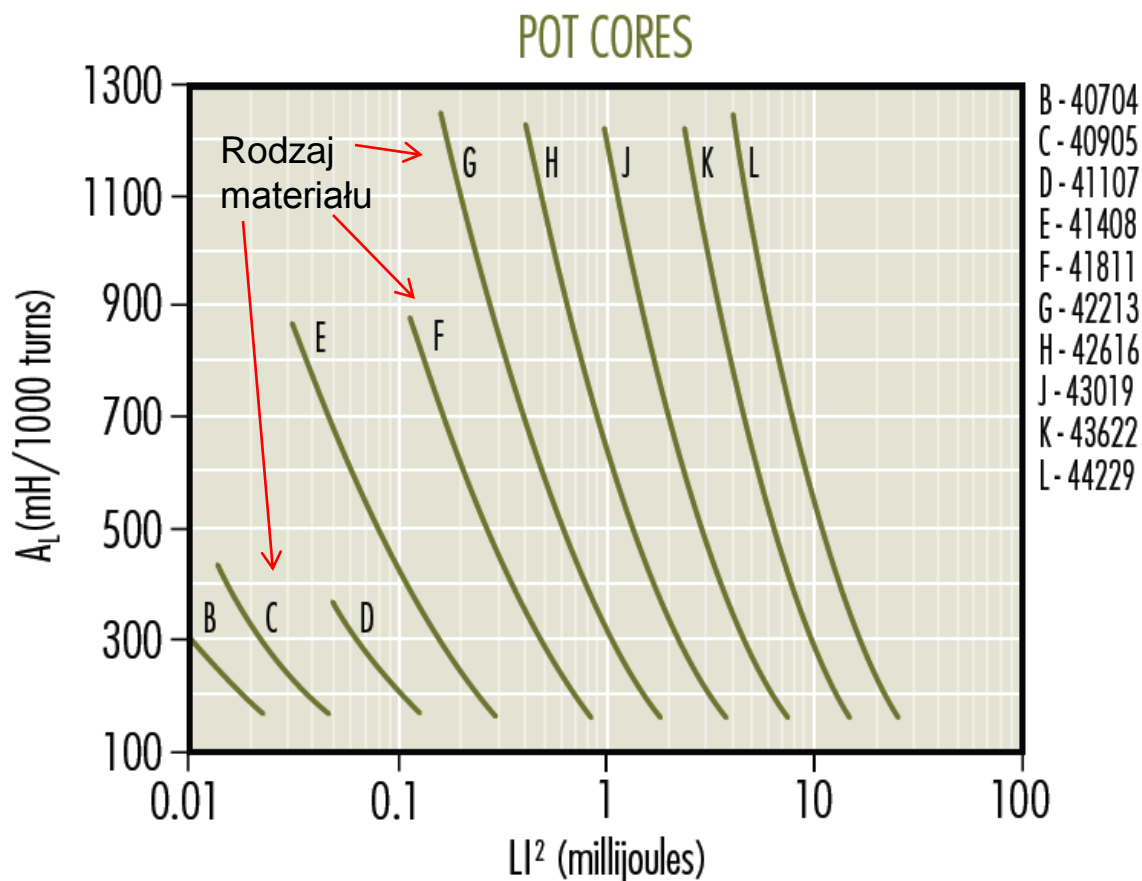
$$I_{L \max} = I_{DC \max} + \Delta i_L / 2$$



Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Producent materiałów magnetycznych MAGNETICS podał nomogramy do doboru rdzeni:

➤ Znając iloczyn LI^2 można odczytać A_L dławika z nomogramu podanego w karcie katalogowej:



Podana jest wartość A_L dla najmniejszego rdzenia, dla którego uniknie się nasycenia ($B_{pk} < B_{sat}$)

Pot Cores

www.mag-inc.com

UWAGA: jednostką stałej A_L jest w $[nH/zwój^2]$, jest to równoważne α w $[mH/1000$ zwojów]

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

UWAGA: jednostką stałej A_L jest w [nH/zwój²], jest to równoważne α w [mH/1000 zwojów]

$$A_L = \frac{L}{N^2}$$

$$\alpha = \frac{N}{\sqrt{L}}$$

Wielkość α informuje ile zwojów trzeba nawinąć aby uzyskać indukcyjność 1 mH

Inne zapisy A_L spotykane w katalogach:

Iron powder cores:

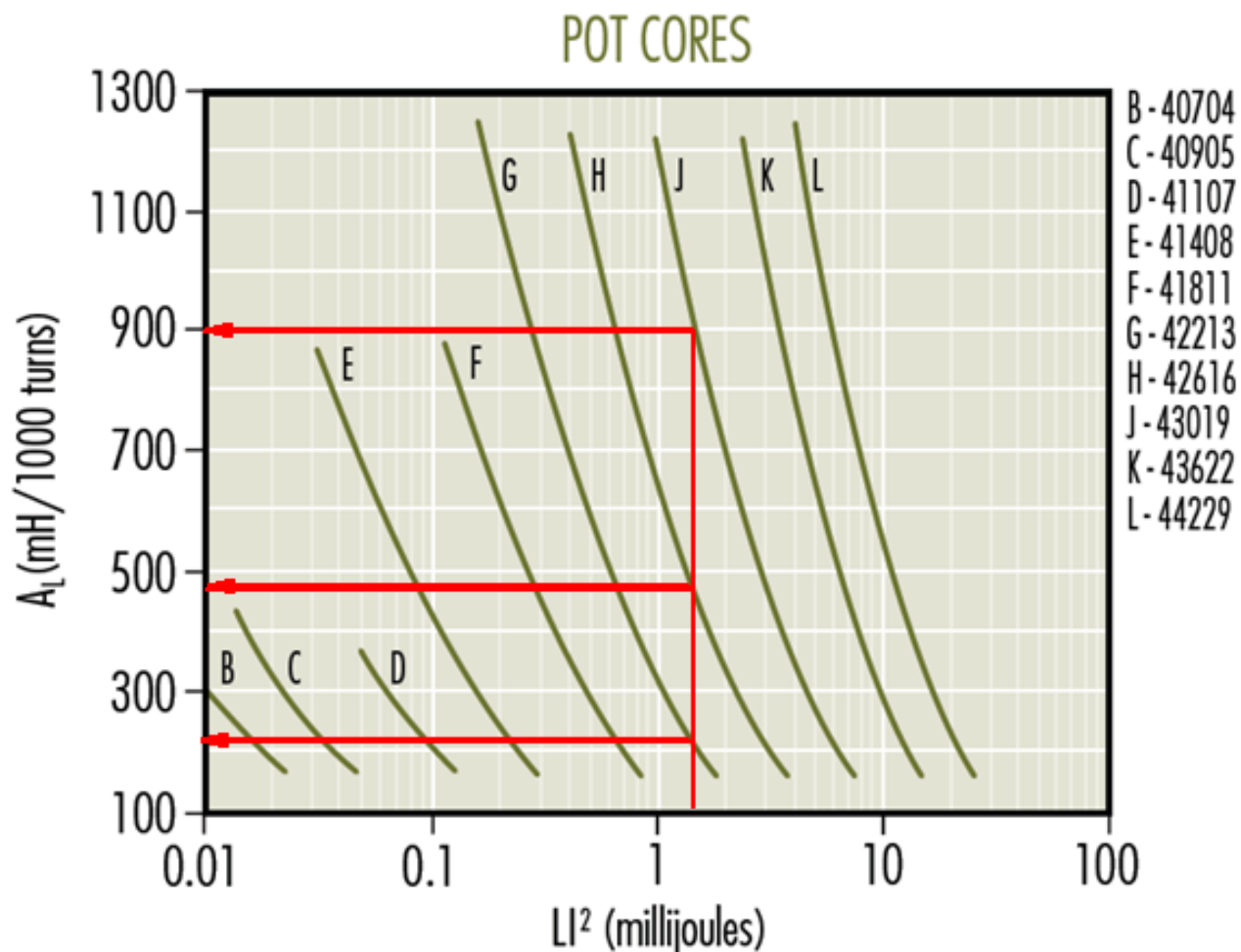
$$\# \text{ turns} = 100 \sqrt{\frac{L(\mu H)}{A_L(\mu H / 100 \text{ turns})}}$$

Ferrite cores:

$$\# \text{ turns} = 1000 \sqrt{\frac{L(mH)}{A_L(mH / 1000 \text{ turns})}}$$

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Każdy z rdzeni, którego charakterystyka przecina linię LI^2 spełnia wymagania:



Pot Cores

www.mag-inc.com

UWAGA: jednostką stałej A_L jest w [nH/zwój²], jest to równoważne α w [mH/1000 zwojów]

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Jeśli znane jest A_L to liczbę zwojów można obliczyć z zależności:

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

[zwojów] \rightarrow N

L \leftarrow w [H]

A_L \leftarrow w [H]

$$N = 10^3 \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

[zwojów] \rightarrow N

L \leftarrow w [H]

A_L \leftarrow w [H]

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Przykład: wartości A_L w zależności od rozmiaru rdzenia i rodzaju materiału :

TYPE/SIZE	ORDERING CODE	NOMINAL A_L (MH/1000T)								
		R	P	F	T	J	W	C	E	V
PC 7/4	O_40704UG	886	964	1,200		2,257	4,286		900	950
PC 9/5	O_40905UG	1,013	1,100	1,365		2,727	6,029	640		
PC 11/7	O_41107UG	1,533	1,667	2,000		3,900	7,666	800	1,650	1,800
PC 11/9	O_41109UG	1,467	1,573	1,900						
PC 14/8	O_41408UG	2,053	2,240	2,800	2,800	5,073	8,400	1,100	2,100	2,240
PC 18/11	O_41811UG	3,067	3,333	4,000		7,500	12,000	1,400	3,000	3,650
PC 18/14	O_41814UG	3,076	3,268	3,350		5,088				
PC 22/13	O_42213UG	4,040	4,400	4,900	5,200	9,100	16,000	1,700	3,900	4,650
PC 26/16	O_42616UG	5,213	5,667	6,350		11,700	20,000			6,000
PC 28/23	O_42823UG			7,000						
PC 30/19	O_43019UG	6,680	7,267	8,100		15,100	25,000	2,800	8,000	7,000
PC 36/22	O_43622UG	8,700	9,467	10,200	10,800	17,500	32,667			9,000
PC 42/29	O_44229UG	9,200	10,000	12,000			40,000			9,000

Pot Cores

www.mag-inc.com

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Gęstość prądu (1.5 ... 2 ... 5 ... 8 A/mm²):

$$J_m = \frac{2 \cdot W_m}{k_{Cu} \cdot A_p \cdot B_{pk}}$$

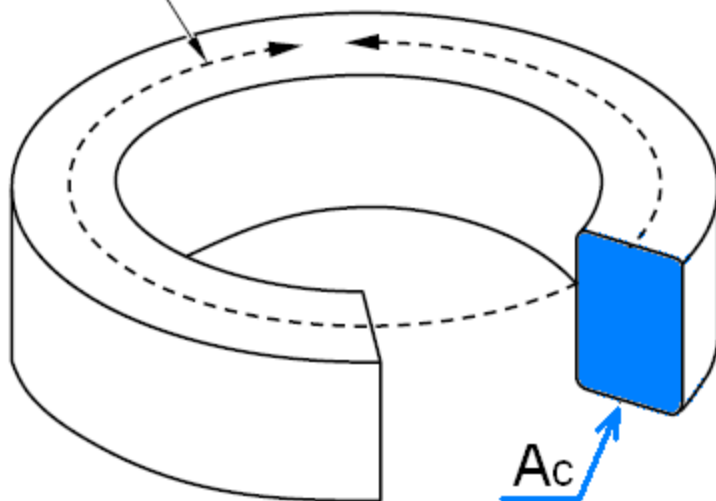
gdzie:

- k_{Cu} – współczynnik wypełnienia okna miedzią (0.2 ... 0.8),
- A_p – iloczyn pola przekroju rdzenia i pola powierzchni okna $A_p = A_c \cdot W_a$,
- B_{pk} – wartość szczytowa indukcji w rdzeniu,
- W_m – energia dławika:

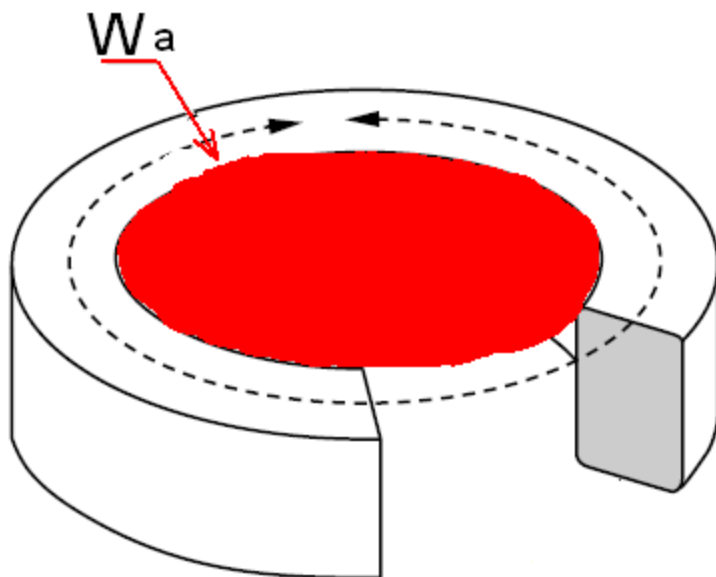
$$W_m = \frac{1}{2} L \cdot I_{Lmax}^2$$

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Średnia droga strumienia



core Area

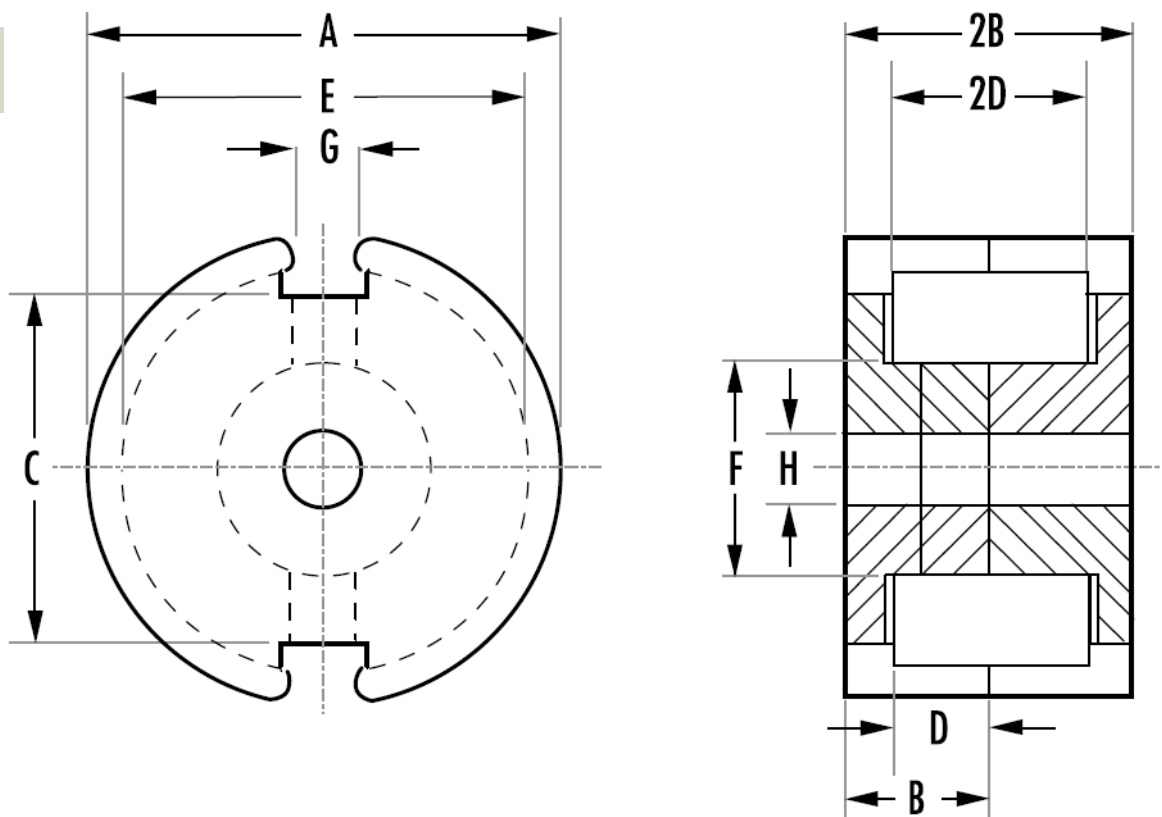


Window area

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Pot Cores

www.mag-inc.com



		DIMENSIONS (mm)									
TYPE/SIZE	ORDERING CODE	A	B	2B	C	D	2D	E	F	G	H
PC 30/19	0_43019UG	30.0 ± 0.5	9.45 ± 0.05	18.9 ± 0.1	20.5 ± 0.5	6.5 min	13.0 min	25.4 ± 0.4	13.3 ± 0.2	4.3 ± 0.6	5.5 ± 0.1
PC 36/22	0_43622UG	35.6 ± 0.6	10.95 ± 0.05	21.9 ± 0.1	26.2 ± 0.6	7.3 min	14.6 min	30.4 ± 0.5	15.9 ± 0.3	4.9 ± 0.6	5.55 ± 0.15
PC 42/29	0_44229UG	42.4 ± 0.7	14.7 ± 0.05	29.4 ± 0.1	32.0 ± 0.7	10.15 min	20.3 min	36.3 ± 0.7	17.4 ± 0.3	5.1 ± 0.6	5.55 ± 0.15

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

Pot Cores

www.mag-inc.com



		MAGNETIC DATA					
TYPE/SIZE	ORDERING CODE	I_e (mm)	A_e (mm ²)	A_{min} (mm ²)	V_e (mm ³)	$W_a A_c$ (cm ⁴)	Weight (grams per set)
PC 30/19	0_43019UG	45.2	137	116	6,190	0.74	34
PC 36/22	0_43622UG	53.2	202	172	10,700	1.53	57
PC 42/29	0_44229UG	68.6	265	214	18,200	3.68	104

Projekt dławika do obwodu DC przetwornicy impulsowej

PRZYKŁAD

Rdzeń PC 36/22

$$A_p = W_a A_c = 1.53 \text{ cm}^4 = 1.53 \times 10^{-8} \text{ m}^4$$

- indukcyjność $L = 3.3 \text{ mH}$
- prąd $I_{L_{\max}} = 1.2 \text{ A}$
- energia:

$$W_m = \frac{1}{2} \cdot 3.3 \cdot 10^{-3} \cdot 1.2^2 = 2.376 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

- współczynnik $k_{Cu} = 0.4$
- indukcja (wartość szczytowa) $B_{pk} = 0.2 \text{ T}$
- gęstość prądu:

$$J_m = \frac{2 \cdot W_m}{k_{Cu} \cdot A_p \cdot B_{pk}} = \frac{2 \cdot 2.376 \cdot 10^{-3}}{0.4 \cdot 1.53 \cdot 10^{-8} \cdot 0.2}$$

$$J_m = 3882353 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} \approx 3.4 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$