



Pracoviště: Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky

Výzkumná zpráva č.: 22190 – 043 – 2013

Induktivní feritová vazba

Druh úkolu: vědecko-výzkumný

Řešitelé: Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.

Ing. Tomáš Kavalír

Doc. Ing. Bohumil Skala, Ph.D.

Vedoucí úkolu: Ing. Vladimír Kindl, Ph.D.

Počet stran: 23

Datum vydání: 15. 1. 2014

Revize: 1.0

podpořeno projekty: CZ.1.05/2.1.00/03.0094.
SGS–2012–071

Anotace

Práce přehledně mapuje vlastnosti, výhody a nevýhody induktivní feritové bezkontaktní vazby. Důraz je kladen především na vliv geometrie jádra na magnetický rozptyl, potažmo účinnost přenosu energie. Zkoumány jsou zde možnosti napájení vazby, různá geometrická uspořádání a vliv rezonance na vazebný obvod při různých velikostech vzduchové mezery. Cílem práce je mimo jiné i navrhnout optimální geometrii o velikost registrační značky automobilu pro přenos výkonu 5 kW na vzdálenost 100 mm.

Seznam symbolů a zkratek

ω	úhlová rychlost	$[rad\ s^{-1}]$
f	frekvence	$[Hz]$
δ	hloubka vniku, vzduchová mezera	$[m]$
μ	permeabilita	$[H\ m^{-1}]$
N	počet závitů cívky	$[/]$
r	poloměr závitů cívky	$[m]$
r_v	poloměr vodiče	$[m]$
l	délka cívky	$[m]$
a, b, c, d	délkové rozměry	$[m]$
k	činitel magnetické indukční vazby	$[/]$
U	napětí	$[V]$
I	proud	$[A]$
P	výkon	$[W]$
Φ	magnetický indukční tok	$[Wb]$
Ψ	spřažený magnetický indukční tok	$[Wb]$
J	proudová hustota	$[MA/m^2]$

Obsah

Anotace.....	2
Seznam symbolů a zkratk.....	3
1 Úvod.....	5
2 Základní analýza různých tvarů feritových jader.....	6
2.1 Feritové jádro tvaru „E“.....	6
2.2 Feritové jádro tvaru „T“.....	8
2.3 Feritové jádro tvaru „C“.....	10
2.4 Porovnání zvolených tvarů feritových jader.....	12
3 Příklad návrhu geometrie jádra pro nabíjení automobilu.....	13
3.1 Určení základních rozměrů.....	13
4 Závěr.....	17
PŘÍLOHA – A -vlastnosti feritových materiálů.....	18
5 Seznam obrázků.....	22
6 Historie revizí.....	23

1 Úvod

Induktivní feritovou vazbou se v současné době zabývají mnohé vědecké týmy, za účelem implementace účinného bezkontaktního nabíjení elektromobilů a jiných spotřebičů.

Například společnost HaloIPT na tomto problému dlouhodobě spolupracuje s automobilkou Citroën [1]. Ta dokonce ve svých automatizovaných výrobních halách napájí osazovací roboty prostřednictvím elektromagnetického pole.

Do podobných experimentů se pustila také společnost Google, která pracuje na projektu nazvaný Plugless Power [2].

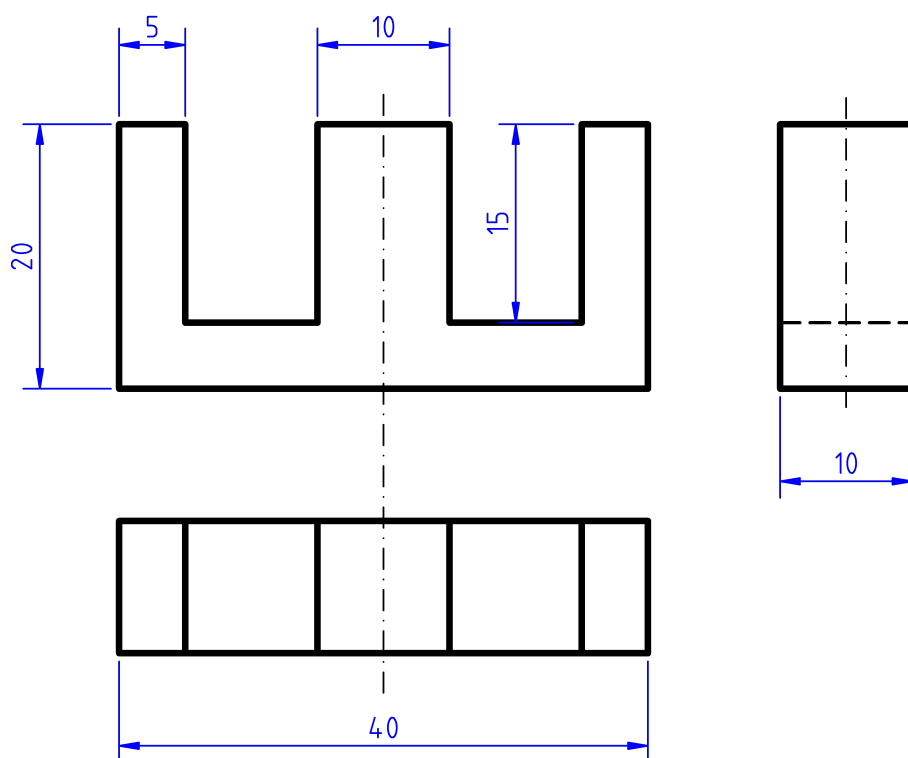
Samotná konstrukce induktivní feritové vazby je principiálně velmi jednoduchá a levná a dá se snadno realizovat bez větších technických problémů. Jde vlastně o otevřený magnetický obvod transformátoru, kde primární a sekundární vinutí spočívá na oddělených částech jádra. Pro vysokou účinnost přenosu energie je však nutné splnit hned několik podmínek, které jsou předmětem této zprávy.

2 Základní analýza různých tvarů feritových jader

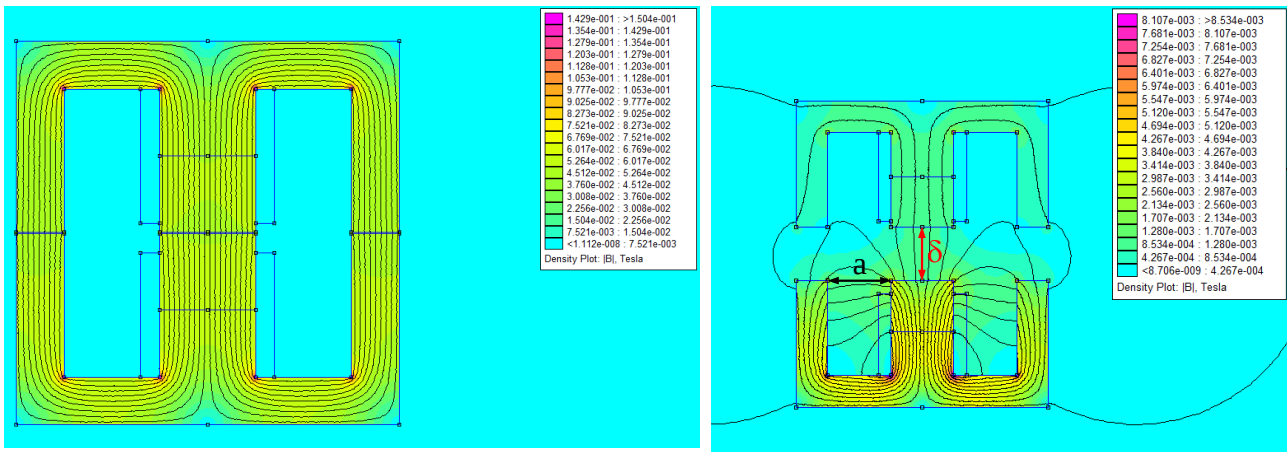
V kapitole se bude vycházet z běžně dostupných tvarů feritových jader (tvary E, T, C). Tyto budou porovnány z hlediska míry magnetické vazby pro různé vzduchové mezery. Vnější rozměry jader budou uvažovány tytéž.

2.1 Feritové jádro tvaru „E“

Tato jádra (Obr. 1) se běžně používají jednak ve spínaných zdrojích jako magnetický obvod transformátorů a jednak jako tlumivky s vysokou indukčností. Většina z běžných typů materiálu disponuje velkou šířkou frekvenčního pásma a vysokou relativní permeabilitou při nízkých měrných ztrátách.



Vinutí se obvykle umísťuje na střední sloupek, přičemž cesta magnetického toku se uzavírá přes plášť jádra (viz Obr. 2a). V případě těsné vazby se jádro vyznačuje relativně dobrým činitelem vazby a pro nízkovýkonové aplikace je dostačující. Pokud ale vzroste vzduchová mezera (viz Obr. 2b), projeví se vliv rozptylových cest a činitel vazby začne prudce klesat (Obr. 3). Je tomu tak proto, že reluktance hlavní magnetické cesty je dána dvojnásobkem vzduchové mezery, zatímco reluktance rozptylové cesty jen rozměrem **a** z Obr. 2b.



Obr. 2: Magnetické pole feritu tvaru „E“ v případě

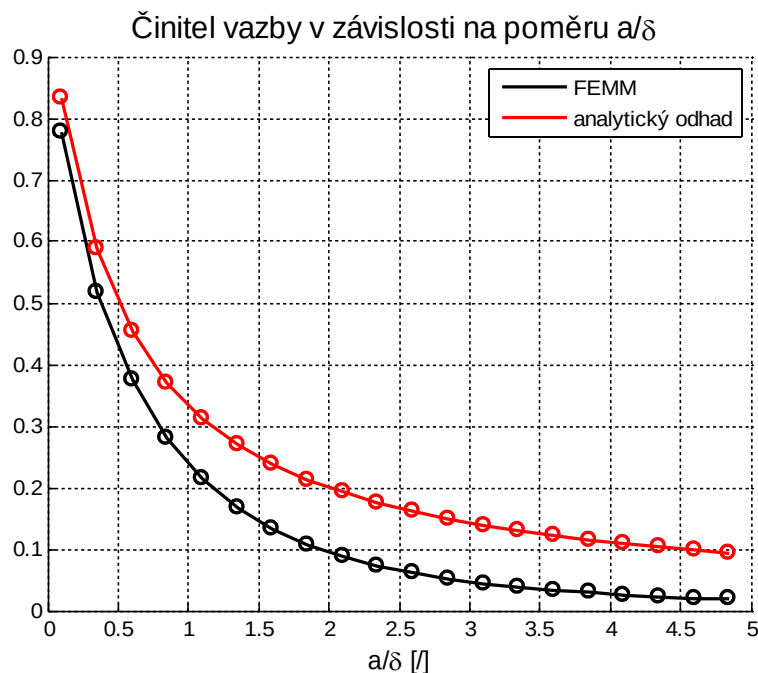
a) těsné vazby

a

b) volné vazby

Pro odhad kvality vazby proto můžeme použít jednoduchý vztah

$$k_E = \frac{\frac{1}{2\delta}}{\frac{1}{2\delta} + \frac{1}{a}} = \frac{a}{a+2\delta} \quad (1)$$

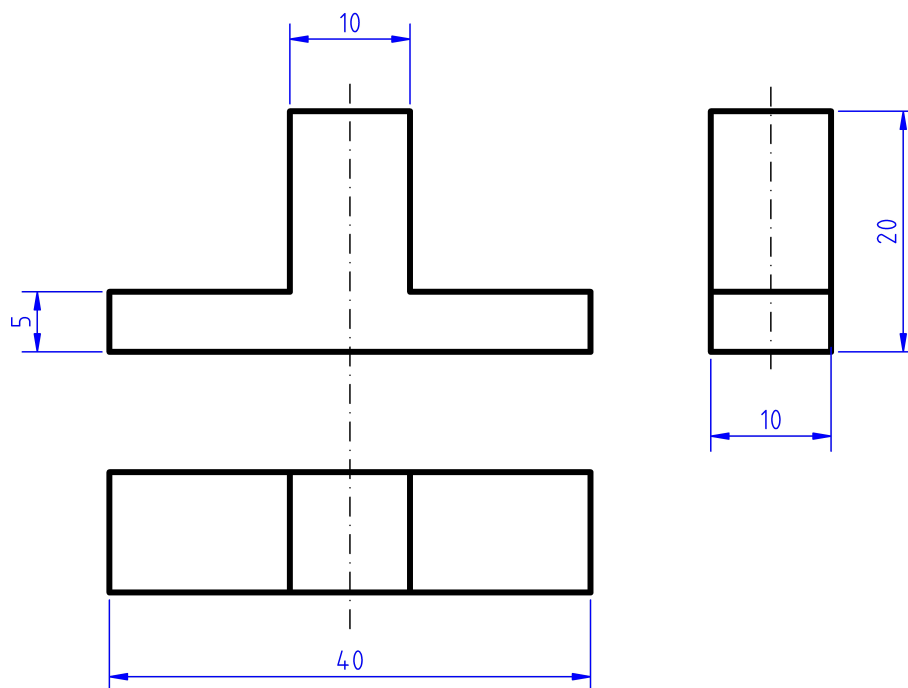


Obr. 3: Vazba feritu tvaru "E"

Na Obr. 3 je vidět strmost zhoršení vzájemné vazby mezi primární a sekundární částí. Rozdíl mezi výsledky konečněprvkového modelu a rov. 1 je zřejmě dán idealizací tvaru pole, předpokládané při její odvození. FEMM model navíc neuvažuje rozptylový tok v ose y, proto bude výsledek ještě o něco lepší, než ve skutečnosti.

2.2 Feritové jádro tvaru „T“

Tato jádra (Obr. 4) se běžně nepoužívají, ovšem vzhledem k předchozímu se předpokládá snížení vlivu rozptylových toků a zploštění průběhu z Obr. 3. Materiál je možné použít standardní s vlastnostmi, které byly uvedeny v předchozí kapitole.



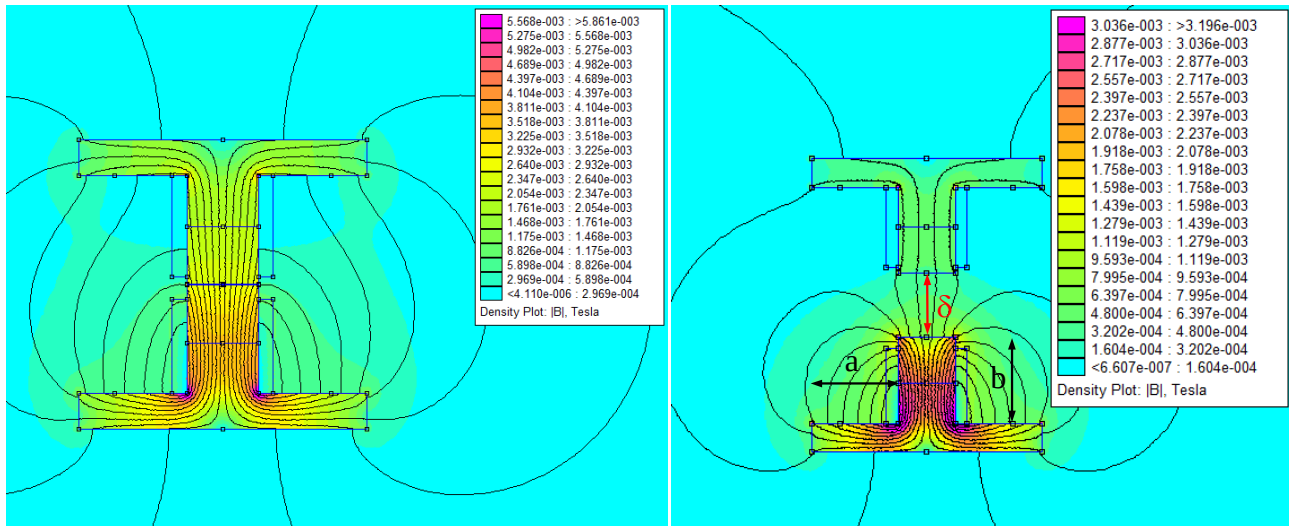
Obr. 4: Rozměry feritového jádra "T"

Vinutí je opět umístěno na středním sloupku, přičemž cesta magnetického toku se uzavírá přes jádro a vzduchový plášť magnetického obvodu (viz Obr. 5a). Jak je vidět z Obr. 6, činitel vazby obou vinutí v těsné vazbě vychází oproti předchozímu tvaru feritového jádra zhruba poloviční, nicméně gradient jeho poklesu je o něco nižší. Toho by se dalo využít v případě rezonanční induktivní vazby, kde má tento tvar jisté výhody.

Pro odhad kvality vazby opět můžeme odvodit jednoduchý aproximační vztah

$$k_T = \left[\left(\frac{1}{2\delta + \frac{b}{2}} + \frac{1}{\sqrt{\frac{a^2}{4} + \frac{b^2}{4}}} \right) \left(2\delta + \frac{b}{2} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

Rozdíl mezi výsledky konečněprvkového modelu a rov. 2 je opět dán idealizací tvaru pole, předpokládané při její odvození. FEMM model navíc neuvažuje rozptylový tok v ose y, proto bude výsledek ještě o něco lepší, než ve skutečnosti.

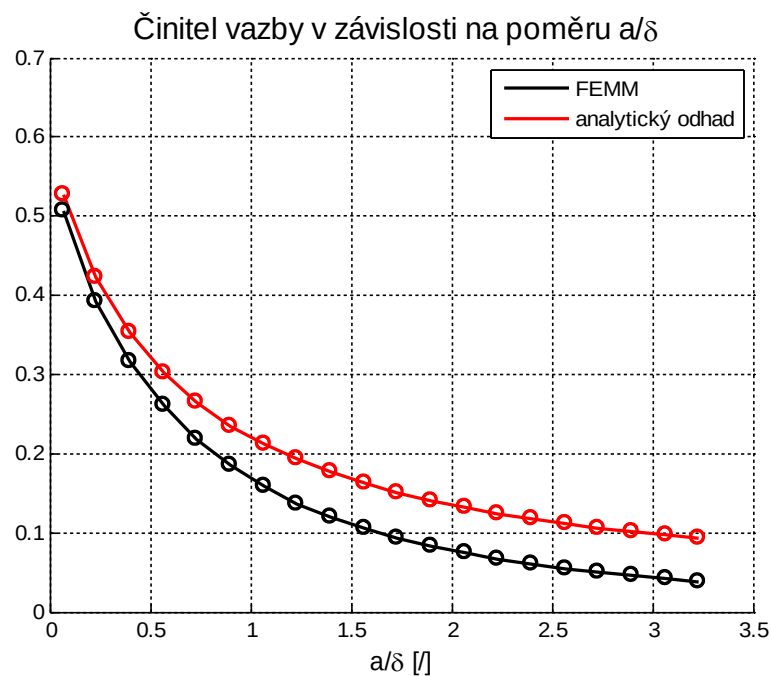


Obr. 5: Magnetické pole feritu tvaru „T“ v případě

a) těsné vazby

a

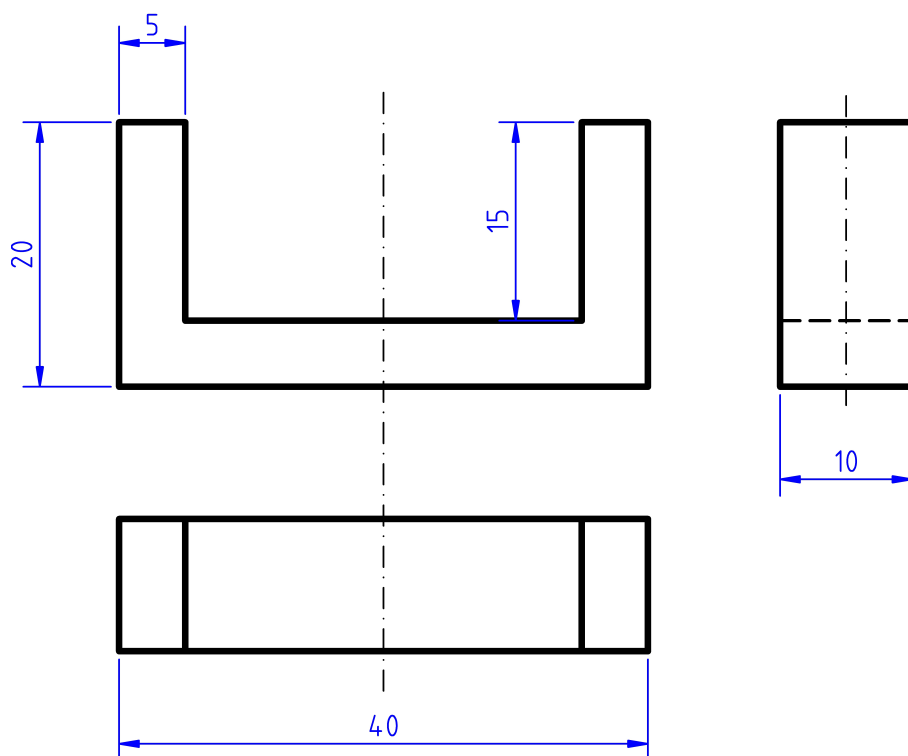
b) volné vazby



Obr. 6: Vazba feritu tvaru "T"

2.3 Feritové jádro tvaru „C“

Tato jádra (Obr. 7) se běžně používají jako vysokofrekvenční transformátory a tlumivky s vysokou indukčností. Materiál je opět možné použít standardní s vlastnostmi, které byly uvedeny v kapitole 2.1.



Obr. 7: Rozměry feritového jádra "T"

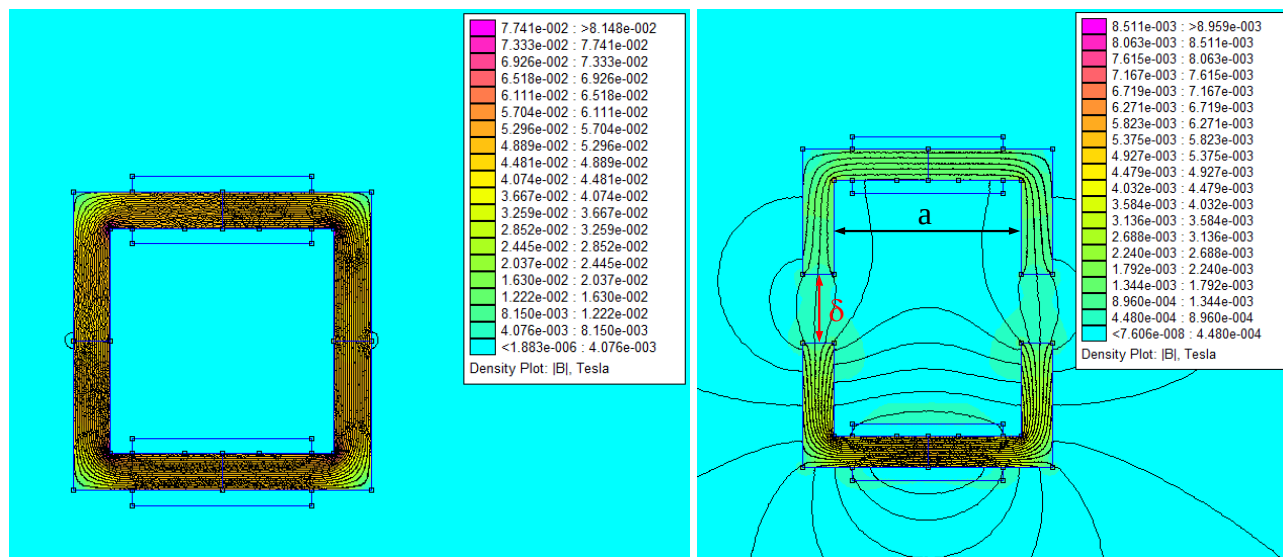
Vinutí je tentokrát umístěno na dně magnetického obvodu, přičemž hlavní magnetická cesta je tvořena oběma sloupky. Rozptylový tok je proto omezen relativně velkým magnetickým odporem.

Jak je vidět z Obr. 9, činitel vazby obou vinutí má ze všech analyzovaných tvarů nejlepší průběh (nejnižší míru poklesu) v závislosti na vzduchové mezeře. Je to dáno velikostí poměru délky vzduchové mezery a vzdálenosti mezi póly magnetického obvodu. Toto je důležitý parametr, který musí být brán v úvahu v případě návrhu vlastní geometrie.

Pro odhad kvality vazby opět můžeme odvodit jednoduchý aproximační vztah

$$k_c = \frac{\frac{1}{4\delta}}{\frac{1}{4\delta} + \frac{1}{a}} = \frac{a}{a + 4\delta} \quad (3)$$

Rozdíl mezi výsledky konečněprvkového modelu a rov. 3 je opět dán idealizací tvaru pole, předpokládané při její odvození. FEMM model navíc neuvažuje rozptylový tok v ose y , proto bude výsledek ještě o něco lepší, než ve skutečnosti.

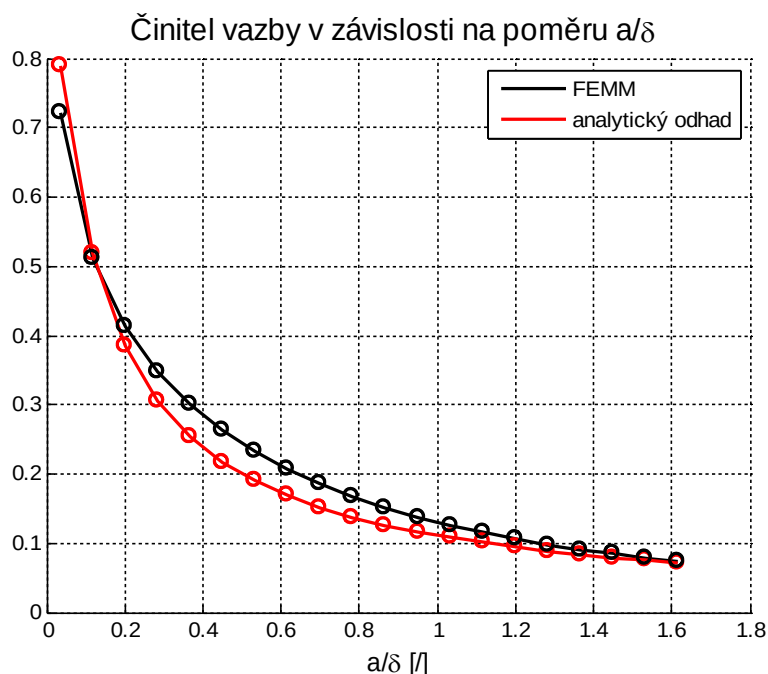


Obr. 8: Magnetické pole feritu tvaru „C“ v případě

a) těsné vazby

a

b) volné vazby



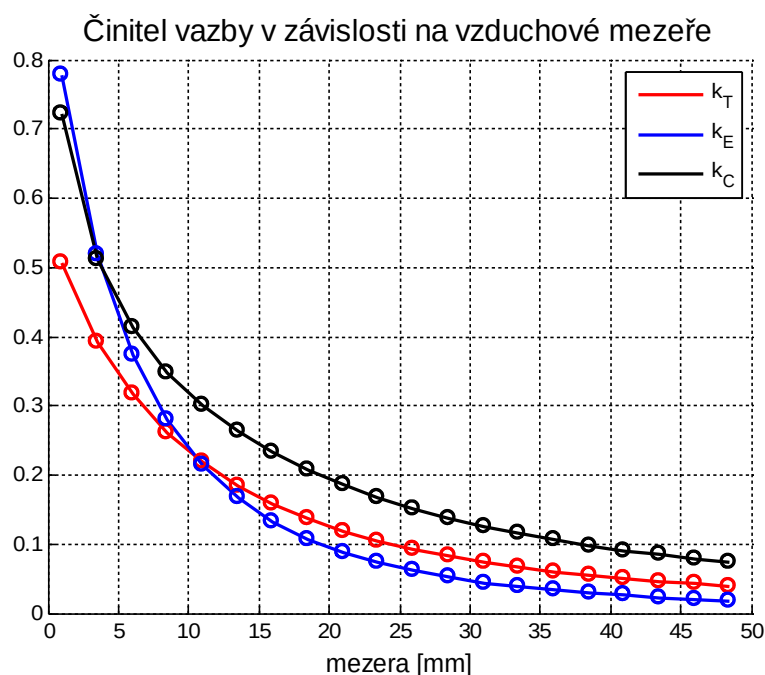
Obr. 9: Vazba feritu tvaru "C"

2.4 Porovnání zvolených tvarů feritových jader

Z Obr. 10 a předchozího textu plyne hned několik závěrů, které mohou ovlivnit volbu typu jádra pro různé aplikace.

Tvary „E“ a „C“ se pro zanedbatelnou vzduchovou mezeru vyznačují velmi vysokým činitelem vazby, čímž jsou vhodné v případech, kdy se předpokládá velmi malá vzdálenost primární a sekundární cívky. Požadavek je splněn hlavně v aplikacích nabíjení přes tzv. neelektrický kontakt, kdy obě jádra leží přes izolaci na sobě. Jádro typu „T“ se hodí hlavně pro přenos energie na větší vzdálenosti (jednotky centimetrů) ve spojení se spirálovými cívkami. Výhodou je spirálový tvar vazebných členů. Horší činitel této vazby vylepší provoz cívek v rezonanci. V praxi je výhodné rezonanci použít vždy a pro všechny tvary jádra.

Pro přenos vyšších výkonů (např. nabíjení elektromobilu) se jeví jako nejlepší použít ferit typu „C“ nebo „T“ a to hlavně pro jejich rozměrové možnosti a relativně jednoduchý tvar.

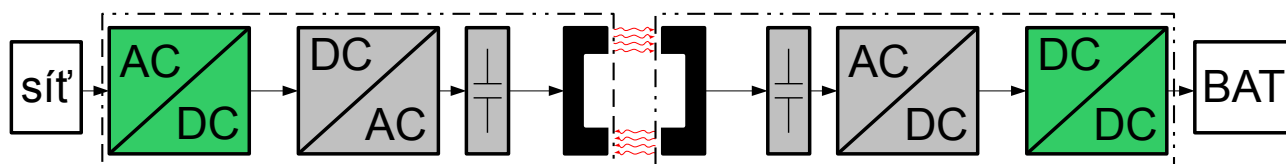


Obr. 10: Srovnání zvolených typů feritu

Na trhu se vyskytuje nepřehledné množství výrobců a distributorů feritových jader, která však svými rozměry neumožňují realizovat optimální vazebný člen pro potřeby automobilové techniky. Je proto nutné navrhnout vlastní tvar a rozměry feritového jádra.

3 Příklad návrhu geometrie jádra pro nabíjení automobilu

Při návrhu je nutné zohlednit jednak potřebný výkon a jednak maximální zástavbové rozměry vazebného členu. V případě feritové vazby se jeví jako nejvýhodnější čelní nabíjení umístěné přímo v registrační značce vozidla (Obr. 11), jejíž běžné rozměry jsou 520x110 mm.



Obr. 11: Schéma zapojení pro nabíjení elektromobilu

Schématické znázornění celého systému nabíjení je vidět na Obr. 11. Zde předpokládáme výpočty pouze na primární straně vazby, sekundární část se bude ovlivněna velikostí vzduchové mezery. V Tab. 1 jsou přehledně shrnuty nejdůležitější parametry pro návrh.

Tab. 1: Zadání hlavních parametrů feritové vazby

Veličina	Poznámka		
P_1	výkon primárního DC/AC	$5e^3$	[W]
U_1	výstupní napětí primárního DC/AC	230	[V]
f	rezonanční frekvence	$100e^3$	[Hz]
materiál jádra		77	[/]
max. vzduchová mezera		$100e^{-3}$	[m]

3.1 Určení základních rozměrů

Předpokládáme-li provoz obou cívek v rezonanci, bude mít přenášený výkon čistě činný charakter, přičemž lze primární proud počítat jako

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = 21.74 \text{ [A]} \quad (4)$$

Při proudové hustotě $J_1 = 4 \text{ MA/m}^2$ a činiteli plnění vodičů $k_\epsilon = 0.7$ vychází plocha jednoho lana a potažmo celého vinutí

$$S_l = \frac{I_1}{J_1 k_\epsilon} = 7.64e^{-6} \text{ [m}^2\text{]} \quad , \quad S_v = \frac{N I_1}{J_1 k_\epsilon} \text{ [m}^2\text{]} \quad (5)$$

Dále, efektivní hodnota napětí je 230 V, napájecí frekvence 100 kHz, z čehož přímo plyne velikost spráženého toku s primárním vinutím

$$\Psi = N \Phi = \frac{2 U_1}{\omega} = 7.32 e^{-4} . \quad (6)$$

Pro např. $N=5$ závitů dostaneme magnetický tok

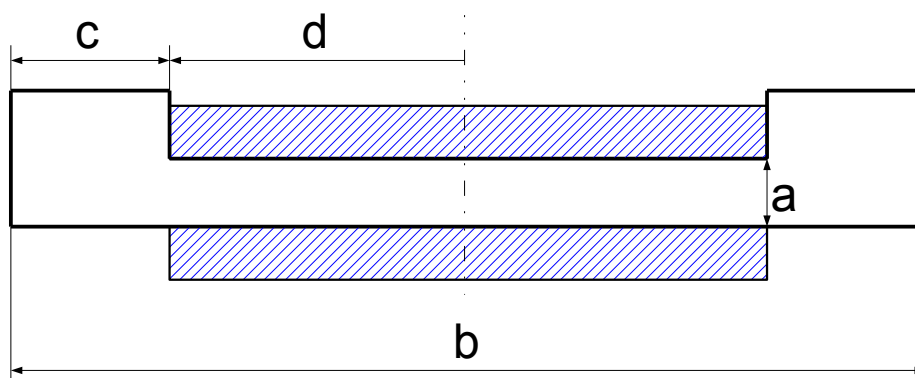
$$\Phi = \frac{2 U_1}{N \omega} = 14.64 e^{-4} . \quad (7)$$

Abychom snížili ztráty v jádře na minimum, volíme $B=100[mT]$ přičemž výška RZ $a_{RZ}=110 e^{-3} [m]$. Tloušťka magnetického obvodu pak vyjde

$$b_F = \frac{\Phi}{B a} = 14.6 e^{-3} [m] . \quad (8)$$

Vzhledem k mechanické odolnosti volíme $b_F=20 e^{-3} [m]$, což umožní s dostatečnou rezervou zmenšit výšku jádra na $a_F=100 e^{-3} [m]$.

Dále zřejmě bude záležet na poměru šířky pólového nástavce **c** a délky cívky **d** z náčrtku (Obr. 12), který přímo ovlivňuje činitel vazby.



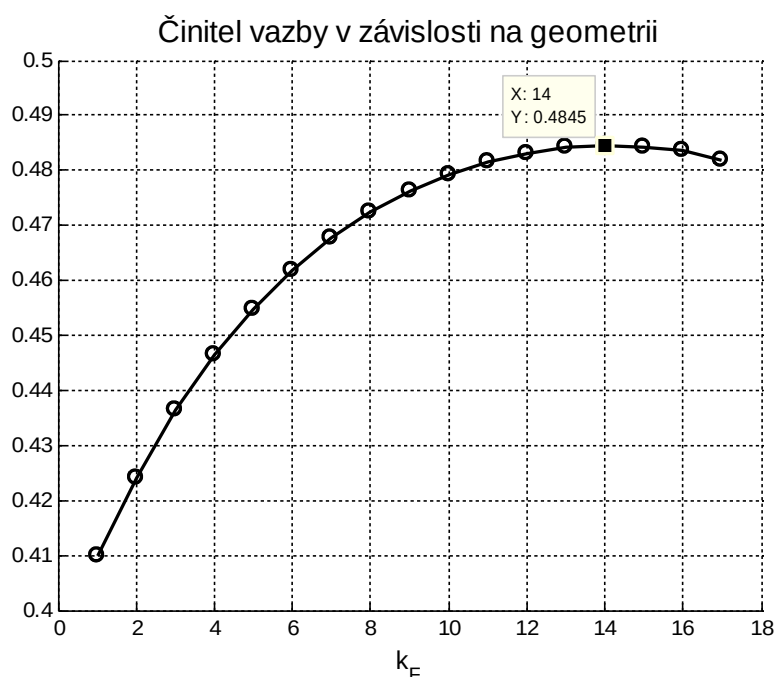
Obr. 12: Ilustrace geometrického uspořádání feritu

Pro velké vzduchové mezery však není možné říci, že siločáry vystupují kolmo z magnetického obvodu a jsou vzájemně rovnoběžné, tudíž ani neexistuje přesný analytický vztah, který by relace všech rozměrů vůči činiteli vazby popsal.

Použít můžeme opět pole. Za tímto účelem byl sestaven konečněprvkový parametrický model vazby z feritového jádra, kterým za pomoci série výpočtů snadno určíme optimální délku cívky a šířku pólového nástavce. Výpočetní cyklus je dělen do sedmnácti kroků, přičemž v každém z nich dochází ke změně geometrie jádra a vyhodnocení kvality vazby. Délka cívky se zvětšuje a šířka pólového nástavce adekvátně k tomu zmenšuje aby byl zachován vnější rozměr (viz. Tab. 2 a Obr. 13).

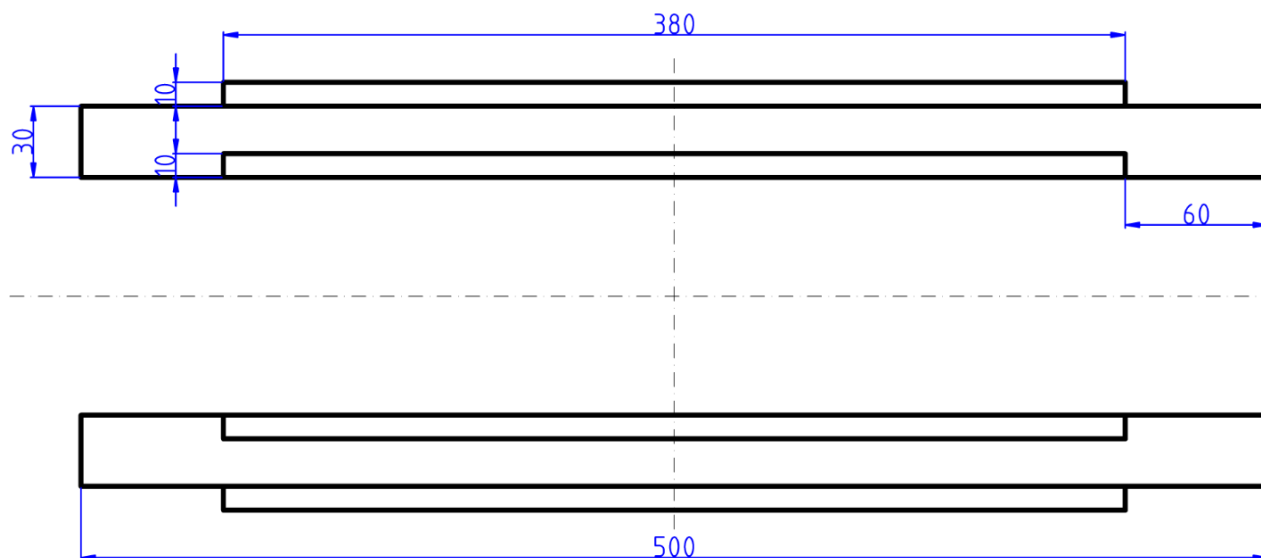
Tab. 2: Různé varianty geometrie

krok	d – délka cívky	c – šířka pólového nástavce		k_F
1	$60 e^{-3}$	$340 e^{-3}$	[m]	0.4100 [/]
2	$70 e^{-3}$	$320 e^{-3}$	[m]	0.4240 [/]
3	$80 e^{-3}$	$300 e^{-3}$	[m]	0.4363 [/]
4	$90 e^{-3}$	$280 e^{-3}$	[m]	0.4464 [/]
5	$100 e^{-3}$	$260 e^{-3}$	[m]	0.4547 [/]
6	$110 e^{-3}$	$240 e^{-3}$	[m]	0.4618 [/]
7	$120 e^{-3}$	$220 e^{-3}$	[m]	0.4676 [/]
8	$130 e^{-3}$	$200 e^{-3}$	[m]	0.4724 [/]
9	$140 e^{-3}$	$180 e^{-3}$	[m]	0.4762 [/]
10	$150 e^{-3}$	$160 e^{-3}$	[m]	0.4793 [/]
11	$160 e^{-3}$	$140 e^{-3}$	[m]	0.4815 [/]
12	$170 e^{-3}$	$120 e^{-3}$	[m]	0.4831 [/]
13	$180 e^{-3}$	$100 e^{-3}$	[m]	0.4841 [/]
14	$190 e^{-3}$	$80 e^{-3}$	[m]	0.4845 [/]
15	$200 e^{-3}$	$60 e^{-3}$	[m]	0.4843 [/]
16	$210 e^{-3}$	$40 e^{-3}$	[m]	0.4836 [/]
17	$2200 e^{-3}$	$20 e^{-3}$	[m]	0.4820 [/]



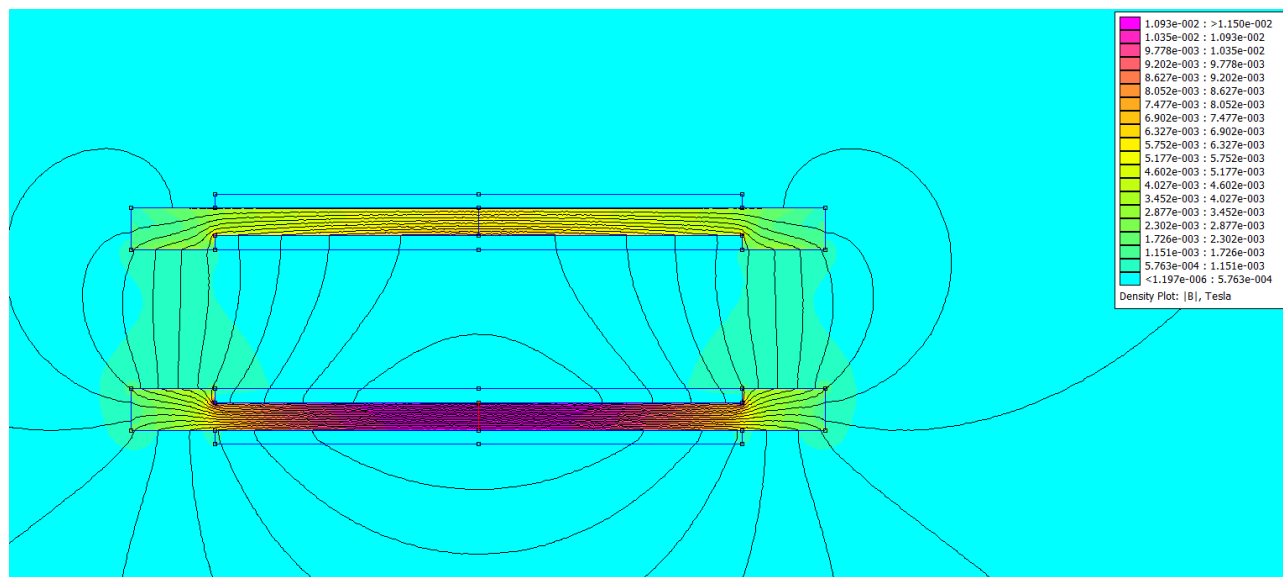
Obr. 13: Grafická interpretace Tab. 2

Je vidět, že nejlepší činitel vazby má geometrie kroku 14. Ta také potom stanoví základní rozměry feritového jádra (Obr. 14).



Obr. 14: Náčrtek feritového jádra

Na Obr. 15 je vidět rozložení magnetického pole cívek. Toto odpovídá stavu naprázdno, kde se neuvažuje zátěže a reakce sekundární cívky. Výsledek je proto idealizovaný. Ve skutečnosti však významně pomůže rezonance a výsledná účinnost bude ve výsledku mnohem vyšší.



Obr. 15: FEM výpočet pole vazby

Takto upravené jádro (Obr. 14) má činitel vazby

$$k_F = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} = 0.51 \text{ [I]} \quad (9)$$

4 Závěr

Ve druhé kapitole byly porovnány běžně dostupné tvary feritových jader z hlediska kvality vazby primární a sekundární cívky vhodné pro přenos energie vyšších výkonů na krátkou vzdálenost (řádově cm). Bylo zde zjištěno, že Tvary „E“ a „C“ jsou vhodné hlavně pro přenos energie přes „neelektrický kontakt“, kdy obě jádra leží přes izolaci na sobě. Geometrie tvaru „C“ vykazovala nejlepší vlastnosti jak na krátkou, tak i na větší vzdálenost. Zatímco jádro typu „T“ se jeví jako výhodné pouze pro přenos energie na větší vzdálenosti.

Na tomto místě by bylo dobré nechat otazník a analyzovat možnosti realizace takové vazby pomocí čistě vzduchových cívek (bude předmětem další zprávy).

Pro čelní nabíjení elektromobilu byl proto vyhodnocen jako nejlepší kandidát ferit tvaru „C“.

Ve třetí kapitole je uveden zjednodušený příklad návrhu vazebného členu pro vstupní výkon 5 kW na vzdálenost 10 cm. Odhad účinnosti vychází cca 50 %, přičemž reálná hodnota bude vyšší. Tuto nelze předem určit, jelikož není známá impedance zátěže a mechanismus rezonanční vazby.

PŘÍLOHA – A -vlastnosti feritových materiálů

TYPES OF FERRITE MATERIALS

MATERIAL 33

An economical MnZn ferrite designed for use in open circuit applications for frequencies up to 3.0 MHz.

Rods are available in 33 material.

Specifications:

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	600
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	2800 5
Residual Flux Density	gauss	B_r	1200
Coercive Force	oersted	H_c	0.60
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	25 0.2
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		0.10
Curie Temperature	°C	T_c	>150
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^2

MATERIAL 43

This NiZn is our most popular ferrite for suppression of conducted EMI from 20 MHz to 250 MHz. This material is also used for inductive applications such as high frequency common-mode chokes.

EMI suppression beads, beads on leads, SM beads, multi-aperture cores, round cable EMI suppression cores, split round EMI suppression cores, round cable snap-its, flat cable EMI suppression cores, flat cable snap-its, miscellaneous suppression cores, bobbins, and toroids are all available in 43 material.

Specifications:

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	850
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	2900 10
Residual Flux Density	gauss	B_r	1300
Coercive Force	oersted	H_c	0.45
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	250 1.0
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		1.25
Curie Temperature	°C	T_c	>130
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^5

MATERIAL 61

A high frequency NiZn ferrite developed for a range of inductive applications up to 25 MHz. This material is also used in EMI applications for suppression of noise frequencies above 200 MHz.

EMI suppression beads, beads on leads, SM beads, wound beads, multi-aperture cores, round cable EMI suppression cores, round cable snap-its, rods, antenna/RFID rods, and toroids are all available in 61 material.

Specifications:

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	125
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	2350 15
Residual Flux Density	gauss	B_r	1200
Coercive Force	oersted	H_c	1.8
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	30 1.0
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		0.10
Curie Temperature	°C	T_c	>350
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^8

Strong magnetic fields or excessive mechanical stresses may result in irreversible changes in permeability and losses.

MATERIAL 67

A high frequency NiZn ferrite for the design of broadband transformers, antennas and HF, high Q inductor applications up to 50 MHz. Toroids, multi-aperture cores and antenna/RFID rods are available in this material.

Strong magnetic fields or excessive mechanical stresses may result in irreversible changes in permeability and losses.

Specifications:

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	40
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	2300 20
Residual Flux Density	gauss	B_r	800
Coercive Force	oersted	H_c	3.5
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	150 50
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		0.05
Curie Temperature	°C	T_c	>475
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^7

MATERIAL 68

Our highest frequency NiZn ferrite intended for broadband transformers, antennas and HF high Q inductor applications up to 100 MHz. This material is only supplied to customer-specific requirements and close consultation with our application staff is suggested.

Strong magnetic fields or excessive mechanical stresses may result in irreversible changes in permeability and losses.

Specifications:

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	20
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	2700 40
Residual Flux Density	gauss	B_r	1000
Coercive Force	oersted	H_c	7.0
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	500 100
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		0.10
Curie Temperature	°C	T_c	>500
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^7

MATERIAL 73

A MnZn ferrite, supplied only in small cores, to suppress conducted EMI frequencies below 30 MHz.

EMI suppression beads, beads on leads, SM beads, and multi-aperture cores are all available in 73 material.

Specifications:

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	2500
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	3900 5
Residual Flux Density	gauss	B_r	1500
Coercive Force	oersted	H_c	0.24
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	10 0.1
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		0.65
Curie Temperature	°C	T_c	>160
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^2

MATERIAL 77

A MnZn ferrite for use in a wide range of high and low flux density inductive designs for frequencies up to 100 kHz.

EP cores, PQ cores, ETD cores, E&I cores, U cores, rods, tack bobbin cores, toroids, and bobbins are all available in 77 material.

Specifications:

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	2000
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	4900 5
Residual Flux Density	gauss	B_r	1800
Coercive Force	oersted	H_c	0.30
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	15 0.1
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		0.7
Curie Temperature	°C	T_c	>200
Resistivity	Ω cm	ρ	1×10^2

MATERIAL 78

A MnZn ferrite specifically designed for power applications for frequencies up to 200 kHz.

RFID rods, toroids, pot cores, EP cores, PQ cores, ETD cores, and E&I cores are all available in 78 material.

Specifications:

Property	Unit	Symbol	Value
Initial Permeability @ B < 10 gauss		μ_i	2300
Flux Density @ Field Strength	gauss oersted	B H	4800 5
Residual Flux Density	gauss	B_r	1500
Coercive Force	oersted	H_c	0.20
Loss Factor @ Frequency	10^{-6} MHz	$\tan \delta / \mu_i$	4.5 0.1
Temperature Coefficient of Initial Permeability (20-70°C)	%/°C		1.0
Curie Temperature	°C	T_c	>200
Resistivity	Ω cm	ρ	2×10^2

Seznam použité literatury

- [1] Pavel Vachtl. Bezdrátové nabíjení elektromobil [online]. Dostupné z: http://www.rozhlas.cz/leonardo/technologie/_zprava/1008001>
- [2] Jan Horčík. Google testuje bezdrátové dobíjení elektromobilů [online]. c2011, poslední revize 22. 3. 2011 [cit. 27. 4. 2013]. Dostupné z: <<http://www.hybrid.cz/google-testuje-bezdratove-dobijeni-elektromobilu>>

5 Seznam obrázků

Obr. 1: Rozměry feritového jádra "E"	6
Obr. 2: Magnetické pole feritu tvaru „E“ v případě	7
Obr. 3: Vazba feritu tvaru "E"	7
Obr. 4: Rozměry feritového jádra "T"	8
Obr. 5: Magnetické pole feritu tvaru „T“ v případě	9
Obr. 6: Vazba feritu tvaru "T"	9
Obr. 7: Rozměry feritového jádra "T"	10
Obr. 8: Magnetické pole feritu tvaru „C“ v případě	11
Obr. 9: Vazba feritu tvaru "C"	11
Obr. 10: Srovnání zvolených typů feritu	12
Obr. 11: Schéma zapojení pro nabíjení elektromobilu	13
Obr. 12: Ilustrace geometrického uspořádání feritu	14
Obr. 13: Grafická interpretace Tab. 2	15
Obr. 14: Náčrtek feritového jádra	16
Obr. 15: FEM výpočet pole vazby	16

6 Historie revizí

Rev.	Kapitola	Popis změny	Datum Jméno / Kat.
1.0	Vše	První verze dokumentu	20. 11. 2013 Kindl / KEV