Noyaux Ferrite

Sommaire

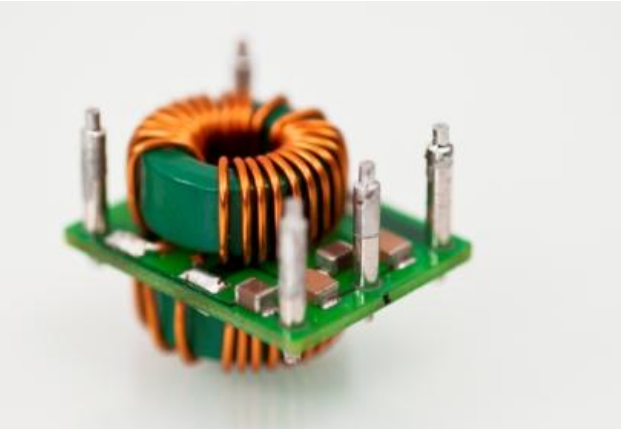
- Introduction
- Bobines
- Pourquoi un noyau ?
- Influence du matériau et de la forme du noyau sur la valeur de l'inductance
- Types de noyaux
- Les pertes magnétiques
- Qu'est-ce que l'hystérésis?
- Qu'est-ce que la ferrite?
- Processus de fabrication
- Paramètres pour choisir sa ferrite
- La forme du noyau
- Exemple de formes de noyaux TDK
- Formes des noyaux et applications
- Exemple: Choix de la géométrie en fonction du type d'alimentation
- Exemple: Choix de la taille en fonction de la puissance de l'alimentation
- Ferrites pour des applications de puissance
- Ferrites TDK
- Toute la gamme de matériaux ferrites TDK
- Outil de design TDK
- Interface pour courbe d'hystérésis

Introduction

- Les noyaux ferrites constituent
  le corps central des bobines :
  inductances, transformateurs et moteurs.

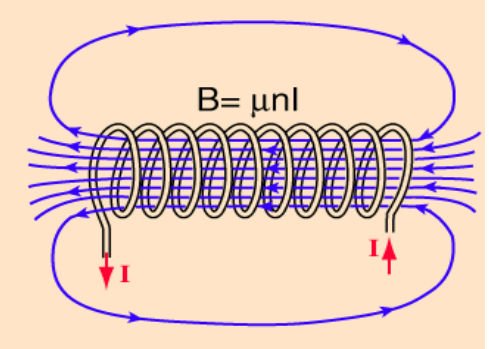
- Pourquoi un noyau au cœur de la bobine ?

- Quels sont les différents types de noyaux ?



Bobines

- Une bobine est un composant électrique qui parcouru par un courant non continu*, crée des lignes de flux magnétique (énergie magnétique).



- Les inductances peuvent stocker une énergie électrique sous forme magnétique, puis la restituer.

- Les inductances sont utilisées essentiellement dans des applications de filtrage, de conversion d'énergie (alimentations à découpage non isolées), et d'interrupteur magnétique (inductances saturables) :

  Filtrage / Électroaimants (relais) / Oscillateurs
  Adaptation d'impédance / Alimentation à découpage

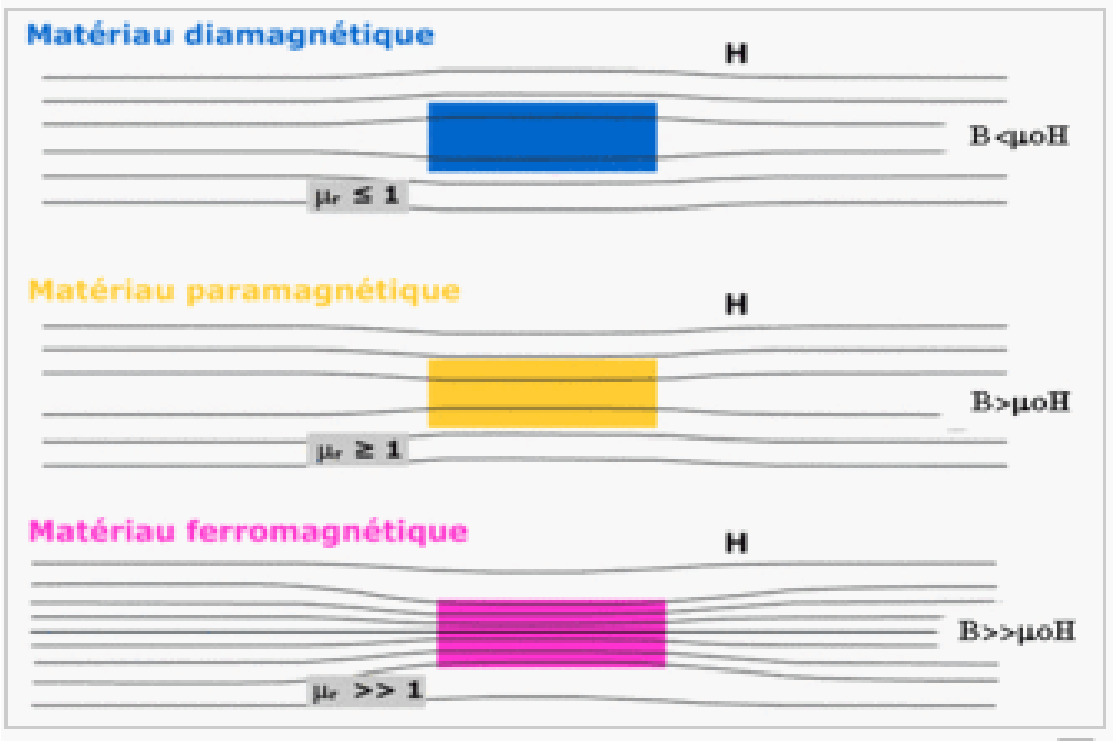
  Transformateurs (constitué d'au moins deux bobines)
  Moteurs électriques

*décomposable en fréquences au sens de Fourier

Pourquoi un noyau ?

L'utilisation de circuits magnétiques (noyaux) permet:

- La diminution de l'encombrement
- La limitation des rayonnements parasites en canalisant le flux magnétique dans un espace restreint.



Influence du choix du matériau et de la forme du noyau sur la valeur de l'inductance

L est la valeur d'inductance d'une bobine

$$L = (N^2 * \mu * A) / l$$

- $\mu = (\mu 0 * \mu r)$: Perméabilité absolue du noyau [H/m]
- A : Section ou surface du corps de la bobine [m2]
- l : Longueur du circuit magnétique [m]
- $\mu 0$: Perméabilité de l'air ou du vide $4\pi E\text{-}7$ [H/m]
- **μr : Perméabilité relative du noyau**, dépend de l'excitation magnétique: elle augmente avec celle-ci jusqu'à la saturation. Dès qu'on atteint la saturation μr diminue et devient égale à 1.
- N : Nombre de spires de la bobine.
- On notera **$Al = \mu * A / l$ d'où $L = N^2 * Al$;** Al est le paramètre d'inductance

La perméabilité relative exprime la capacité du matériau à canaliser les lignes de flux magnétique
Plus la perméabilité est grande plus la bobine peut emmagasiner de l'énergie magnétique.

Types de noyaux

- Il existe deux types de noyaux:
  - Noyaux en tôle feuilletée
  - Noyaux en ferrite

Le noyau n'est jamais constitué d'un bloc de fer compact, car lorsqu'un noyau compact est soumis à un champ magnétique alternatif, il surchauffe sous l'effet des courants parasites qui se créent à l'intérieur.

Pour neutraliser ces courants, qui réduisent considérablement le rendement de la bobine, le noyau s'obtient en superposant de fines lamelles de fer et de silicium, séparées des deux côtés par un oxyde, de façon à les isoler les unes des autres.

Les pertes magnétiques

- les pertes d'une bobine sont principalement dues au noyau.

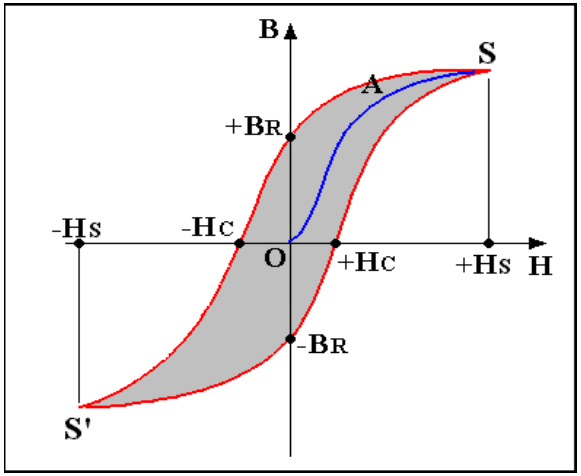
- Les pertes dans le noyau dissipent une certaine quantité de chaleur si l'enroulement est traversé par un courant alternatif.

- Deux types de pertes
  - par hystérésis
  - par courants de Foucault.

- On réduit les pertes par courant de Foucault en utilisant des ferrites car les ferrites sont isolantes donc présentent une grande résistance et s’opposent à la création des courants parasites.

Qu’est-ce que l’hystérésis ?

- Lorsqu'un noyau est placé à l'intérieur d'une bobine, l'induction **B** n'est pas proportionnelle à l'excitation magnétique (champ) **H,** créée par la variation du courant dans les enroulements de la bobine .
- Si l'on part d'un noyau qui n’a jamais été aimanté, la courbe de première aimantation ressemble à la courbe OAS en bleu.
- En A commence la saturation : si le champ augmente l'induction **B** n'augmente plus que très faiblement.
  Si le champ d’excitation diminue jusqu'à s'annuler, l'induction est conservée en partie : le noyau est aimanté. Pour une excitation nulle, (**H**= 0), il reste une induction rémanente **+Br**.
- Pour annuler cette induction il est nécessaire d'inverser le champ magnétique d’excitation jusqu'à la valeur **-Hc** appelé champ "coercitif".
- Si l'on diminue H jusqu'à la valeur -Hs, d'intensité égale à Hs puis que l'on ramène H à zéro l'induction B dans le noyau reste à -Br.
- **Les pertes par hystérésis sont proportionnelle à la surface grisée sur la figure, elles dépendent du matériau utilisé. Les aimants permanents artificiels sont réalisés avec des matériaux à fort champ coercitif.**



Qu’est-ce que la ferrite?

- La ferrite est un type de céramique obtenue par moulage à forte pression (frittage) et haute température (+ de 1000°C) d’oxyde de fer Fe2O3xO *où x est de la manganèse ou du zinc ou du cobalt ou du nickel, …*

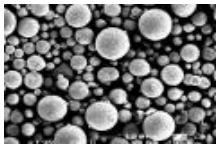
- C’est un matériau dur, difficile à usiner et assez fragile

- Les caractéristiques magnétiques (perméabilité magnétique, gamme de fréquence) varient beaucoup en fonction de sa composition.

Processus de fabrication d'un noyau ferrite

Matières premières

Mélange /pré-frittage/séchage



Granulés

Pressage

Noyau vert

frittage

Produit final

Paramètres pour choisir sa ferrite

- A_L : facteur d'inductance, c'est l'inductance pour un nombre de tours = 1
  l'inductance $L = A_L * N^2$

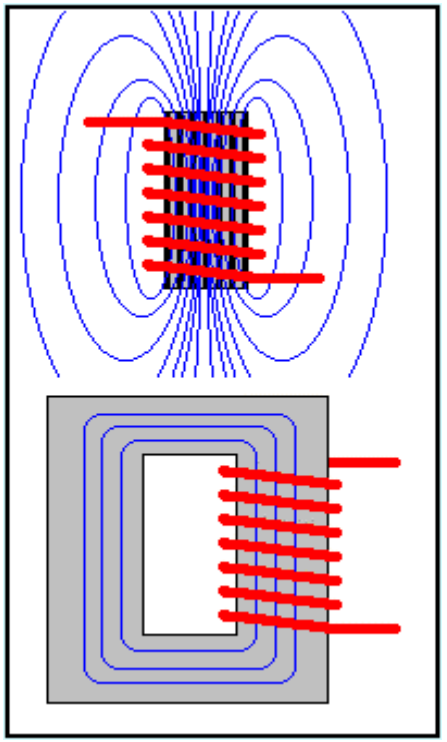
- Pv : Pertes dans le noyau, dépendent de la température T, de la fréquence f et de la densité du flux du champ B. elles dépendent de la forme du noyau et de la composition de la ferrite, Ces pertes engendrent l'augmentation de la température du noyau et limitent la transmission de puissance

- Bsat: densité de flux de saturation

La forme du noyau

- La forme du noyau intervient dans la conception d'une bobine.
  En effet, le facteur d'inductance A_L, qui détermine l'inductance L, est fonction de la géométrie du noyau.

- Les lignes du champ magnétique sont réparties selon la forme du noyau (électro-aimant, alimentation à découpage, moteur, transformateur…)



Exemple de formes de noyaux TDK

PQ Cores	Planar Cores (EE/EI/EIR/EL/ELP/ELT/EQ/ER/PQI/Plate)	E Cores (EC/EE/EEM/EER/EF/EFD/EI/EPC/ER/ETD/EV/LP)
RM Cores	EP Cores	PM/P Cores
U/UI/UU Cores	Toroid Cores	Ferrites For EMC Suppression
DR/FT/P Cores	Balun Cores	

EC

EE

UU

T

ETD

EI

T

P

ER

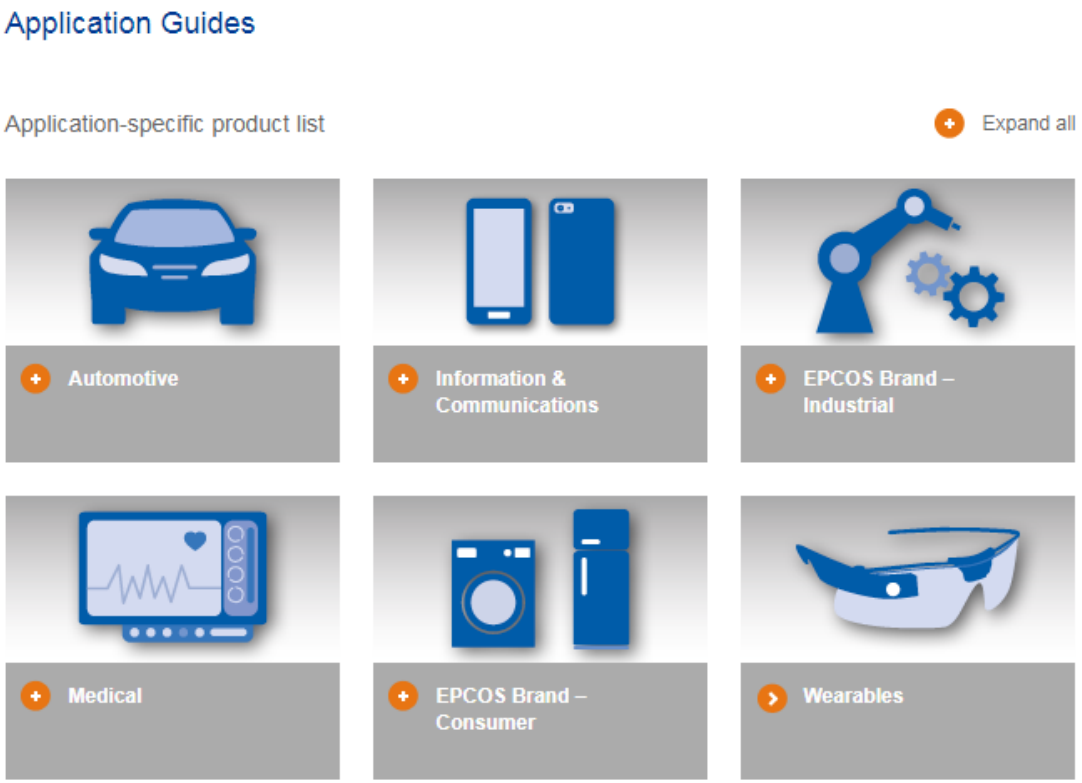
RM

LP

DR

Formes des noyaux et applications

- Ferrites pour alimentation à découpage
- Ferrites pour applications de télécommunication
- Ferrites grandes tailles pour des applications de puissance
- Ferrites pour Bobines



Exemple: Choix de la géométrie du noyau en fonction du type d'alimentation

Type de noyau	Type d'alimentation		
	Fly back	Forward	Push pull
E	+	+	0
Planar E	-	+	0
EFD	-	+	+
ETD	0	+	+
EC	-	0	+
U	+	0	0
RM	0	+	0
EP	-	+	0
P	-	+	0
Tores	-	+	+

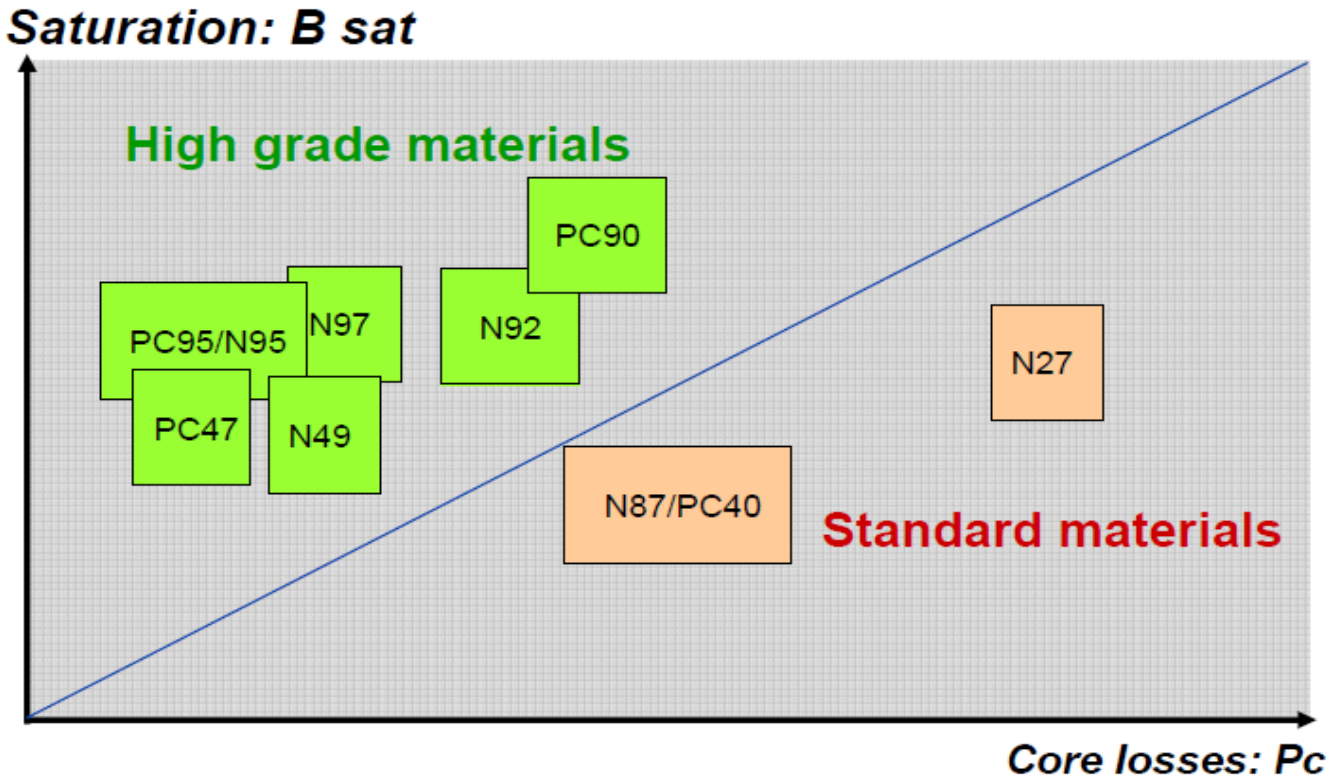
Exemple: Choix de la taille du noyau en fonction de la puissance de l'alimentation

Ce tableau permet d'orienter le choix de l'utilisateur, sachant cependant que la solution n'est jamais unique....

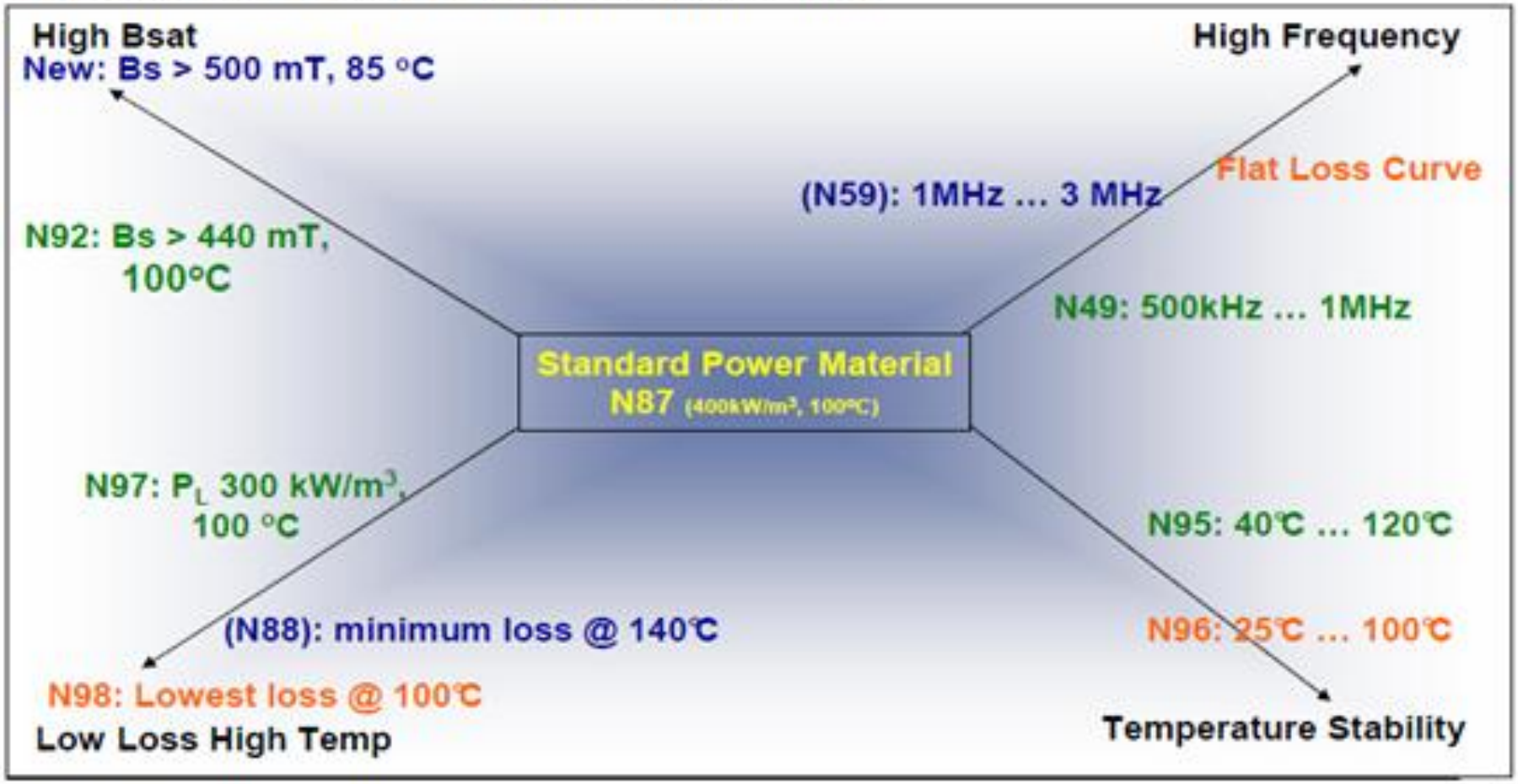
Puissance (W)	Taille du noyau (exemple indicatif)
<5	RM4; P11/7; R14;EF12.6; U10
5 à 10	RM5; P14/8
10 à 20	RM6; E20; P18/11; R23; EFD15
20 à 50	RM8; P22/13;U20; RM10; ETD29; E25
50 à 100	ETD29; ETD34; EC35; EC41;RM12; EFD25
100 à 200	ETD34; ETD39; ETD44;EC41; EC52; RM14; P36/22; E30; R56; U25; U30; EFD30
200 à 500	ETD 44; ETD49;E55;E52;E42; U37
>500	E65; EC70; U93; U100

Ferrites pour des applications de puissance

Ferrite power materials



Trends for Power Ferrite Materials



Toute la gamme de matériaux ferrite TDK

Power				
Transformer (low loss)	f<100 kHz	N27	μi = 2000	low cost, hi-power
		N41	μi = 2800	current transformer
		N51	μi = 3000	loss min. @ 40°C
	f<500 kHz	N87	μi = 2200	standard
		N88	μi = 1900	loss min. @ 140°C
		N95	μi = 3000	flat temperature behavior
		N96	μi = 2900	flat temperature behavior
		N97	μi = 2300	lower losses
	f>500 kHz	N49	μi = 1500	
	f>1 MHz	PC200	μi = 800	frequency up to 4 MHz
	Output choke (high B_{sat} @ 100°C)	N87	μi = 2200	standard
		N92	μi = 1500	higher saturation
	Ballast	N72	μi = 2500	low B_r , near flat temperature behaviour

Proximity switch				
Sensor coil (high and stable Q over T)	f<100 kHz	N22	μi = 2300	
		N48	μi = 2300	
	f<1 MHz	M33	μi = 750	
	f>1 MHz	K1	μi = 80	

Resonance circuit				
Filter coil (low tan δ/μi, high Q, stable μi over T)	f<100 kHz	N48	μi = 2300	stable impedance over temperature
		N45	μi = 3800	high B_{sat}
	f<1 MHz	M33	μi = 750	
	f>1 MHz	K1	μi = 80	

Pour accéder aux fiches techniques des matériaux, cliquer sur le lien suivant:
https://en.tdk.eu/tdk-en/529404/products/product-catalog/ferrites-and-accessories/epcos-ferrites-and-accessories/ferrite-materials

Toute la gamme de matériaux ferrite TDK

EMI			
Current-compensated choke (high impedance)	N30	μi = 4300	extended frequency response
	T35	μi = 6000	medium permeability
	T36	μi = 7000	stable impedance over temperature
	T37	μi = 6500	low $\tan\delta/\mu_i$
	T38	μi = 10000	high Inductance low η_B
	T65	μi = 5200	high B_{sat} and high T_c
	T46	μi = 15000	highest permeability
Filter choke (high impedance)	T36	μi = 7000	stable impedance over temperature
	T65	μi = 5200	high B_{sat} and high T_c
Data line choke (high data rate)	K10	μi = 800	highest frequency

Broadband				
Signal transformer (low THD)	ADSL	T38	μi = 10000	standard
		T66	μi = 13000	ADSL2
	SHDSL	T57	μi = 4000	
	VDSL	M33	μi = 750	
	Splitter (high Bsat @room temperature)	N45	μi = 3800	

Pour accéder aux fiches techniques des matériaux, cliquer sur le lien suivant:
https://en.tdk.eu/tdk-en/529404/products/product-catalog/ferrites-and-accessories/epcos-ferrites-and-accessories/ferrite-materials

Outil de design TDK

Logiciel MDT gratuit à télécharger sur site.
Il est constitué de deux sous programmes qui assurent deux fonctionnalités:

- Propriétés des matériaux
- Propriétés du noyau ferrite (forme et matériau)

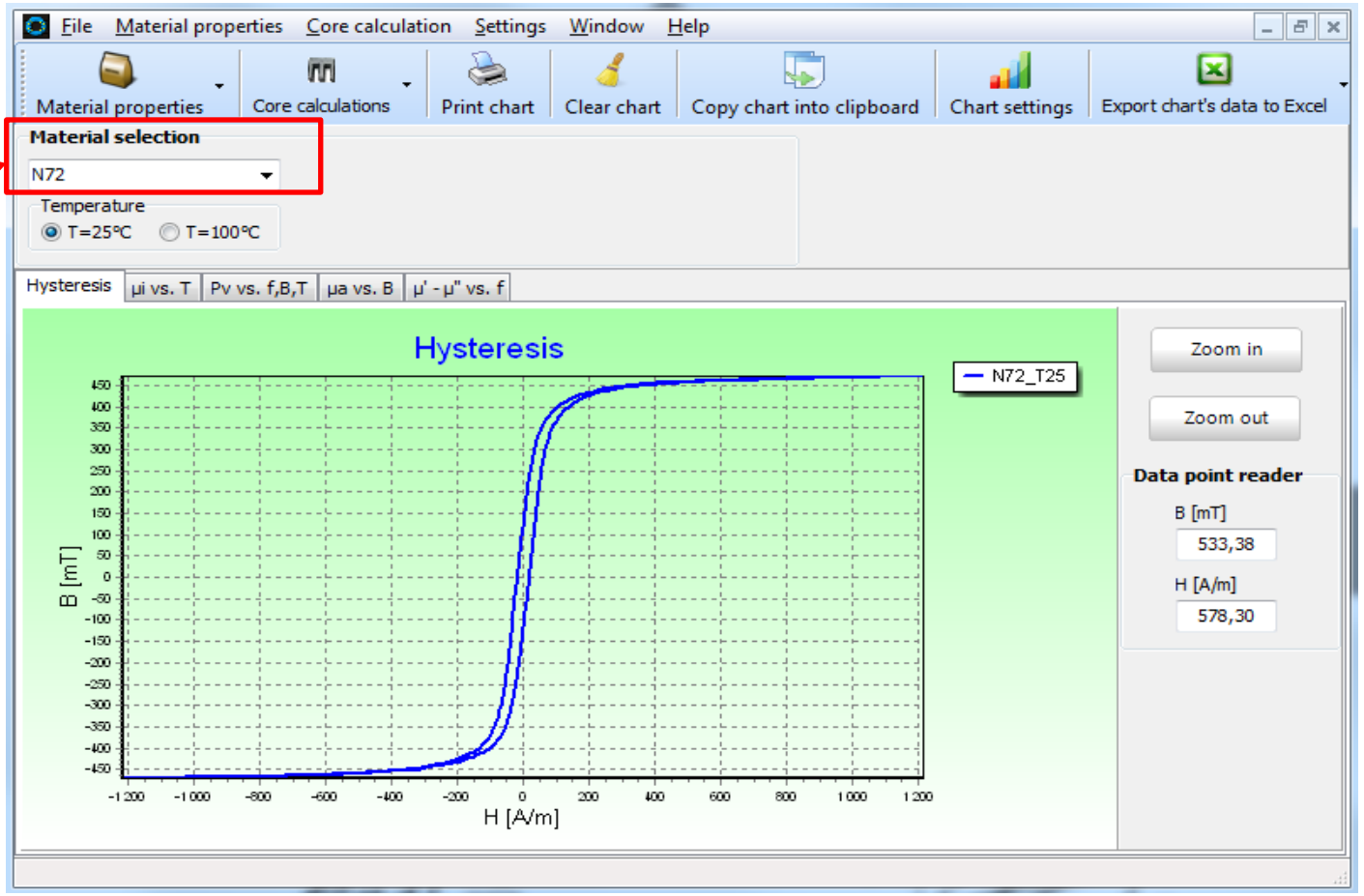
On peut exporter tous les graphiques et les données générées par le MDT sur Excel ou en fichier image

Propriétés du matériau (Material properties)

- Ce sous-programme permet de visualiser:
  - La courbe d'hystérésis d'un matériau
  - La courbe de perméabilité initiale en fonction de la température
  - Les Pertes en fonction de la température, la fréquence ou l'intensité du champ B
  - courbe de perméabilité en fonction du champs magnétique
  - Courbe de perméabilité complexe en fonction de la fréquence
- → on peut superposer ces courbe pour faire des comparaison entre les différents matériaux et pouvoir ainsi choisir la meilleure solution pour son application

Propriétés du noyau (Core Calculations)

- Calcul de Al en fonction de l'entrefer (ou vice versa)
- Courbe de perméabilité effective en fonction de la température
- Valeur de la puissance transférable
- Perméabilité réversible
- Calcul de la distorsion harmonique dans des conditions de circuit
- Calcul des paramètre du fil à utiliser (épaisseur, résistance …)
- Calcul des pertes non sinusoïdale dans le noyau
- Visualiser le rapport des résistances Rdc et Rac en fonction de la fréquence.

Interface pour courbe d'hystérésis

Sélectionner les matériaux:
On peut superposer plusieurs courbes et pour faire un comparatif