

Transformateurs Haute Fréquence Multi Enroulements Schémas à Constantes Localisées et Procédures d'Identification

Z. De Grève^{1,2}, O. Deblecker¹, J. Lobry¹

¹Service de Génie Électrique – Faculté Polytechnique de Mons, Bd Dolez, 31 B-7000 Mons

²Fonds National de la Recherche Scientifique F.R.S/FNRS – Rue d'Egmont 5, B-1000 Bruxelles
zacharie.degreve@fpms.ac.be

Contexte

Conversion DC/DC : alimentations à découpage

➤ Semi-conducteurs = **interrupteurs**

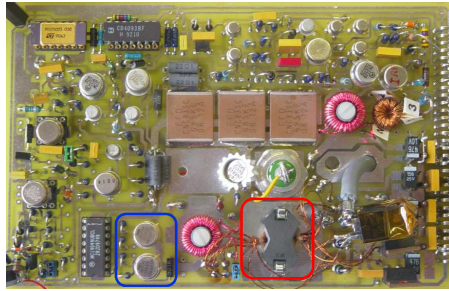
➔ fonctionnement à haut rendement (≈90%)

➤ **Régulation** de la tension de sortie (MLI)

➤ **Isolation galvanique** : transformateurs haute fréquence multi enroulements

Intérêt : modélisation des composants magnétiques

(Buck + Push-Pull)



Transistors MOSFET TFO multi enroulements

Enjeux

➤ **Montée en fréquence** (qqz 100 kHz) : réduction des volumes

$|\underline{U}| = \omega |\underline{\Phi}| = \omega BS \rightarrow \omega \nearrow, S \searrow \rightarrow B$ et $|\underline{U}|$ donnés

➔ Noyaux en **ferrite** (pertes par courants induits)

➤ Sollicitation **non sinusoïdale** du noyau (harmoniques de découpage !)

➤ Large plage de **variation de température** (-40 à +80 °C)

Objectifs : développer des modèles à constantes localisées (RLC) de transformateurs en ferrite multi enroulements :

➤ de paramètres aisément identifiables (*méthode des éléments finis, mesures*)

➤ de paramètres variables avec la fréquence

➤ de paramètres variables avec la température

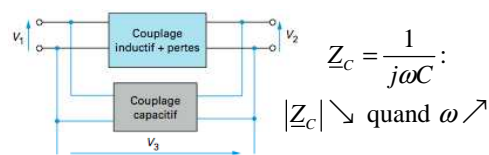
Topologies

❑ Hypothèses

➤ **Linéarité** du noyau ferrimagnétique :

$B_{sat} : 0,5T \text{ et } 50mT \leq B_{in} \leq 450mT$ en pratique

➤ Séparation de la partie électrostatique :



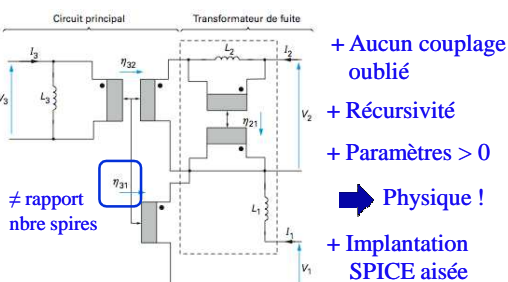
❑ Schémas orthogonaux [Kéradec], D 3 058, 2008

➤ **L** : orthogonalisation de la matrice inductance

$$[L] = [\eta]^T [L'] [\eta]$$

$$\begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} & L \\ L_{12} & L_{22} & L_{23} & L \\ L_{13} & L_{23} & L_{33} & L \\ M & M & M & O \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_{11} & \eta_{12} & \eta_{13} & L \\ 0 & \eta_{22} & \eta_{23} & L \\ 0 & 0 & \eta_{33} & L \\ M & M & M & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ L \\ L \\ M & M & M & O \end{bmatrix}$$

(Cholewski) Valeurs propres > 0 !

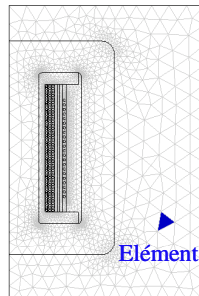


➤ **R** : passer aux impédances

➤ **C** : idem **L** (nbre paramètres augmente !)

Identification des paramètres

❑ Méthode des éléments finis



Formulation intégrale des équations de Maxwell

Approximation de l'inconnue sur des éléments

➔ Résolution d'un système (linéaire ou non)

➔ Solution

❑ $\begin{cases} L' = f(L_{ij}) \\ R' = f(R_{ij}) \\ C' = f(C_{ij}) \end{cases}$ Calculables par éléments finis :

➤ Méthodes aux énergies/puissances

➤ Méthodes aux flux/charges

❑ Formulations rencontrées :

➤ Electrostatique (2D-3D) : calcul des **C**

➤ Magnétoharmonique (2D-3D) : calcul des **R** et **L**

Epaisseur de peau $\delta = \sqrt{\frac{1}{\omega \mu \sigma}} \rightarrow \begin{cases} R' = R'(f) \\ L' = L'(f) \end{cases}$

Maillages incompatibles à fréquence élevée !

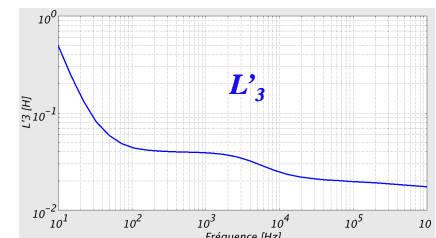
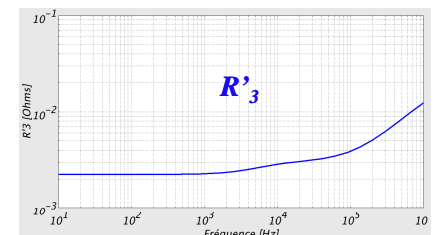
➔ homogénéisation des conducteurs

❑ **Couplage magnéto-thermique** : variation en température des paramètres

Exemple: magnéto-harmonique 2D

❑ TFO 3 enroulements, noyau E42-3F3

Méthode aux énergies :



Limitations

❑ Fréquences > 2 MHz

➔ Vers des circuits à constantes réparties

❑ Non linéarité des ferrites (température) ?

Pour l'instant : inclusion des pertes fer *a posteriori* via une résistance de magnétisation parallèle **R_m**

➔ Vers une modélisation fine de l'hystérésis

~~Modèles RLC~~