

Identification de paramètres physiques d'un système dynamique en vue de son réglage

José Grimm

Projet Apics
Institut National de Recherche en Informatique et Automatique
Sophia Antipolis

29 mars 2005



Plan

1 Introduction

- Résumé
- Omux Alcatel
- Résumé

2 Filtres

- Filtres
- Scattering
- Mesures de filtres
- Approximation rationnelle
- Synthèse de filtres

3 Design de l'Omux



En 1990, contrat entre le CNES et le projet SAFIR: utiliser le calcul formel pour aider au réglage des filtres,
puis développement d'outils dans le projet Miaou
Changement de nom : Apics.



Résumé

Les satellites de télécommunications utilisent des **filtres** en parallèle avant **(IMUX)** et après **(OMUX)** les amplificateurs de puissance.



Résumé

Les satellites de télécommunications utilisent des **filtres** en parallèle avant **(IMUX)** et après **(OMUX)** les amplificateurs de puissance. Il s'agit de **dispositifs analogiques** conçus pour minimiser les **pertes** (problèmes d'évacuation de chaleur).



Résumé

Les satellites de télécommunications utilisent des **filtres** en parallèle avant **(IMUX)** et après **(OMUX)** les amplificateurs de puissance.

Il s'agit de **dispositifs analogiques** conçus pour minimiser les **pertes** (problèmes d'évacuation de chaleur).

La **réponse fréquentielle** de ces filtres formées de **cavités vides** conductrices dans lesquelles oscillent des champs électromagnétiques est très près d'une **fonction linéaire**.



Résumé

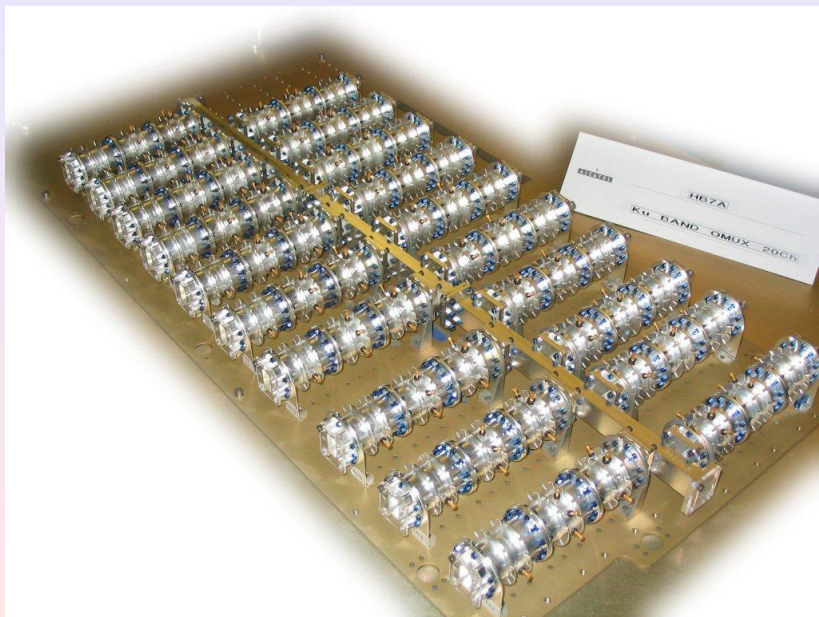
Les satellites de télécommunications utilisent des **filtres** en parallèle avant (**IMUX**) et après (**OMUX**) les amplificateurs de puissance.

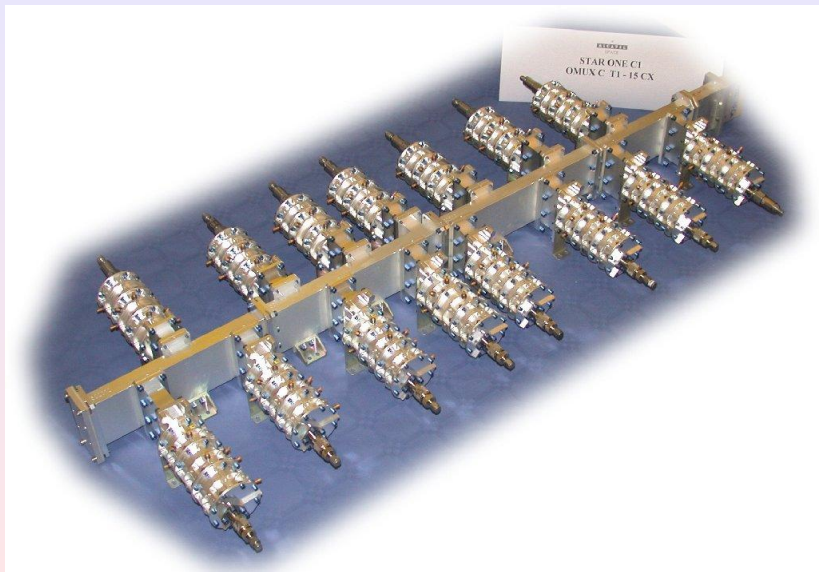
Il s'agit de **dispositifs analogiques** conçus pour minimiser les **pertes** (problèmes d'évacuation de chaleur).

La **réponse fréquentielle** de ces filtres formées de **cavités vides** conductrices dans lesquelles oscillent des champs électromagnétiques est très près d'une **fonction linéaire**.

Elle dépend d'un certain nombre de **paramètres physiques** (géométrie, type de matériau) constants ou variables: typiquement, un filtre peut avoir une douzaine de **vis de réglage**.







Résumé

Le **design** d'un filtre consiste à trouver des **paramètres constants** donnant une **réponse proche** d'une réponse optimale,



Résumé

Le **design** d'un filtre consiste à trouver des **paramètres constants** donnant une **réponse proche** d'une réponse optimale, et le **réglage** consiste à trouver les valeurs des paramètres variables pour faire entrer la fonction dans le **gabarit**.



Résumé

Le **design** d'un filtre consiste à trouver des **paramètres constants** donnant une **réponse proche** d'une réponse optimale, et le **réglage** consiste à trouver les valeurs des paramètres variables pour faire entrer la fonction dans le **gabarit**.

On modélise le filtre comme une suite de **circuits électriques** résonnants couplés. Le projet Miaou (et puis Apics) collabore depuis quelques années avec le CNES et Alcatel Space sur ce problème.



On expliquera dans cet exposé le passage les diverses **hypothèses** et **simplifications** qui permettent de passer des équations de Maxwell à ce modèle, dont la fonction de transfert est une **matrice complexe** à deux entrées et deux sorties;



On expliquera dans cet exposé le passage les diverses **hypothèses** et **simplifications** qui permettent de passer des équations de Maxwell à ce modèle, dont la fonction de transfert est une **matrice complexe** à deux entrées et deux sorties; on expliquera comment le **logiciel hyperion** permet d'identifier la **fonction de transfert** à partir des mesures ;



On expliquera dans cet exposé le passage les diverses **hypothèses** et **simplifications** qui permettent de passer des équations de Maxwell à ce modèle, dont la fonction de transfert est une **matrice complexe** à deux entrées et deux sorties;

on expliquera comment le **logiciel hyperion** permet d'identifier la **fonction de transfert** à partir des mesures ;

on expliquera comment obtenir les **paramètres** du modèle électrique à partir de la fonction de transfert (il n'y a pas **unicité**).



On expliquera dans cet exposé le passage les diverses **hypothèses** et **simplifications** qui permettent de passer des équations de Maxwell à ce modèle, dont la fonction de transfert est une **matrice complexe** à deux entrées et deux sorties;

on expliquera comment le **logiciel hyperion** permet d'identifier la **fonction de transfert** à partir des mesures ;

on expliquera comment obtenir les **paramètres** du modèle électrique à partir de la fonction de transfert (il n'y a pas **unicité**).

Finalement, on évoquera le problème du design de l'OMUX : les filtres interagissent entre eux via le **guide d'onde**.

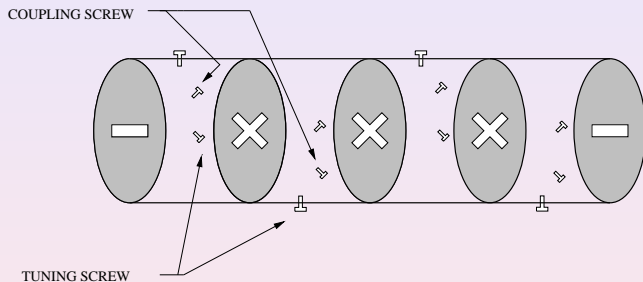


Auteurs et contributeurs

L. Baratchart, J. Grimm, J. Leblond, M. Olivi, F. Seyfert,
F. Wielonski,
A. Galligo, J.P. Marmorat, P. Fulcheri. (Inria)
J. Sombrun, C. Zanchi, S. Gendraud, (CNES)
S. Bila (IRCOM)
D. Pacaud (Alcatel)



Vue schématique d'un filtre



Ici 4 cavités; 3 vis par cavité; 2 iris par paroi

Un iris en entrée et sortie.

Total 20 paramètres réglables.

Les vis sont collées après réglage.



Maxwell

Onde stationnaire dans la direction z du cylindre

$$\mathbf{E}(x, y, z, t) = \mathbf{E}(x, y)e^{\pm ikz - i\omega t}$$

Trois modes: TEM: $B_z = E_z = 0$, TM: $B_z = 0$, TE: $E_z = 0$

Cavité à section rectangulaire: sinus et cosinus en x et y

Cavité à section circulaire : Bessel en ρ , $J_m(x_{mn}) = 0$

TM: $E_z = \sin\left(\frac{p\pi z}{d}\right)J_m(\gamma_{mn}\rho)e^{\pm im\phi}$, $\gamma_{mn} = x_{mn}/R$

$$\omega_{mnp} = \frac{1}{\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\frac{x_{mn}^2}{R^2} + \frac{p^2\pi^2}{d^2}}$$

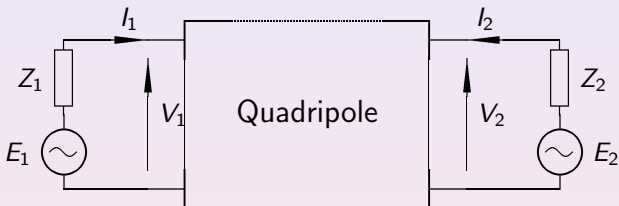
TE: J' au lieu de J .



Propriété d'un filtre

- N cavités identiques, creuses, bord conducteur.
- Solution explicite des équations de Maxwell stationnaires.
- La période ω définie par longueur, diamètre, et mode.
- On choisit souvent le mode fondamental TE_{111} .
- Il y a deux solutions s_1 et s_2 pour le mode; une vis pour s_1 , une pour s_2 , une qui couple
- Iris: permet le couplage des modes d'une cavité à l'autre
- Alignement des vis et iris; permet la non symétrie.



Schéma de principe d'un système 2×2 .

Transfert = $(I, V) \longrightarrow (I, V)$

“Scattering” (répartition) = ondes \longrightarrow ondes.

Mesures: puissance et phase.

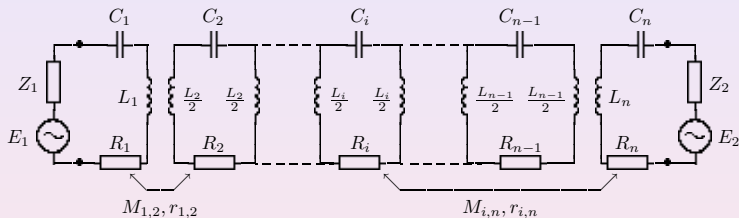
On veut un créneau en puissance, phase linéaire.

Propriétés mathématiques

- Conservation: $|S_{11}|^2 + |S_{12}|^2 = 1$.
- Quelques pertes..., sinon "intérieure".
- Symétrie mathématique : $S_{12} = S_{21}$ (toujours)
- Symétrie physique : $S(\omega_0 + x) = S(\omega_0 - x)$ (parfois)
- Fonction rationnelle : on ne considère qu'un mode par cavité.
- 5 cavités = 10 modes = degré 20.



Équivalent électrique



Circuits RLC couplés. $LC\omega^2 = 1$.

Pertes = résistances

Couplages : les M_{ij} et les C_i

Numérotation: lien entre i et cavité

Transformation passe-bas

Linéariser au voisinage de la fréquence de résonance

$$\omega = \frac{\Delta\omega}{2}\omega' + \omega_0$$

$$L' = \frac{\Delta\omega}{2\omega_0} \left(L\omega_0 + \frac{1}{C\omega_0} \right); \quad B' = L\omega_0 - \frac{1}{C\omega_0}$$

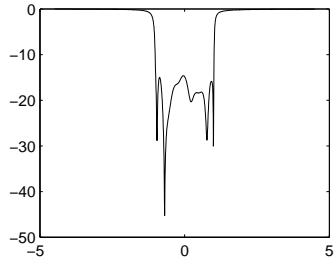
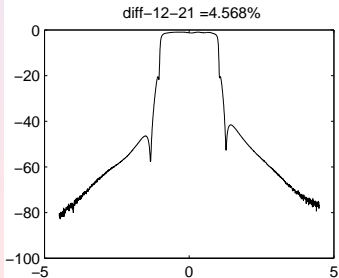
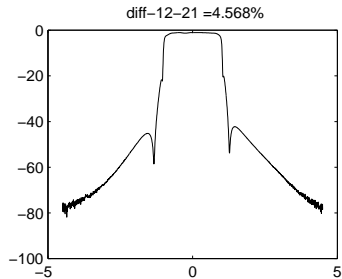
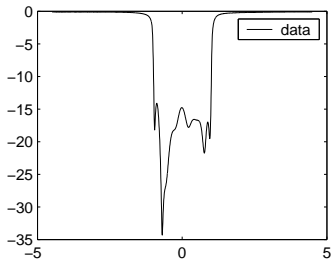
$$R + iL\omega + \frac{1}{iC\omega} \approx R + iB' + iL'\omega'$$

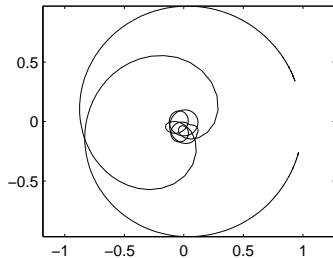
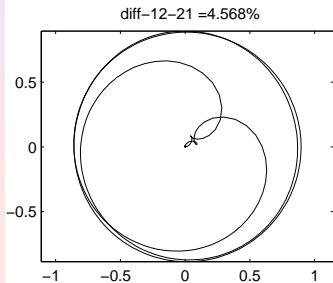
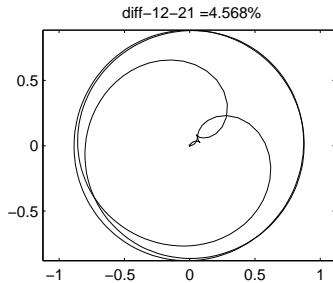
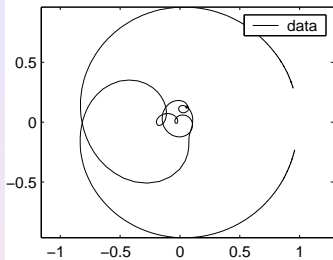
Ceci divise le degré de McMillan par deux. Résultat complexe.

Exemple: 5 cavités = 10 modes = degré 10.

Nouveaux M_{ij} = paramètres de couplage.







Vers l'approximation rationnelle

Système continu (avec R,L,C):

$$\dot{x} = Fx + Gu \quad y = Hx + Ju$$

Système discret (abstrait, mathématiquement plus simple)

$$x_{k+1} = Fx_k + Gu_k \quad y_k = Hx_k + Ju_k$$

Transfert $f = \sum_{k \geq 0} H_k / z^{k+1} = H(zI - F)^{-1}G + J$

$g(x) = f(1/z)/z$ analytique dans le disque

Étape 1 : interpoler & extrapoler (splines, problème PEB)



Complétion analytique

Question: extrapoler les mesures sur toute la gamme de fréquence.

- Avec la norme L^2 (J. Leblond)
- Dans l'espace de Sobolev (F. Seyfert)
- Quelle est la valeur à l'infini ?
- Influence de l'instrument de mesure
- Complétion ad hoc
- Complétion en norme du sup...



Approximation rationnelle

Que fait le logiciel hyperion ?

- Factorisation intérieure-instable $\mathcal{H} = Q^{-1}C$
- Minimiser $\psi(Q)$ (Baratchart, Cardelli)
- Algorithme de Schur pour Q (Olivi, Fulcheri)
- Pondération (scalaire seul, Wielonski)
- Différentiation automatique pour le Hessien
- Gestion des minima locaux; problème de frontière
- L'octuple précision est-elle utile ?
- Intégration, Newton, BFGS ?

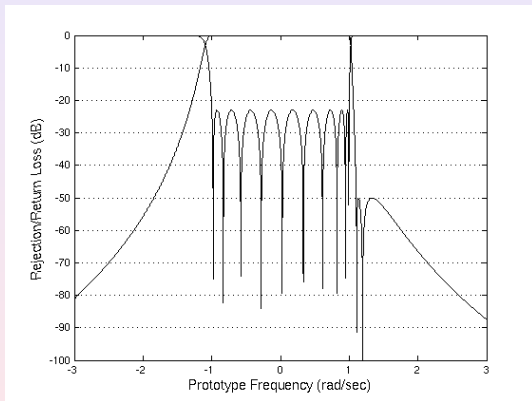


Vers les paramètres physiques

- Symétrique, passif, sans perte, identité à l'infini, 2×2 : idéal, mais structure riche.
- Il est facile d'avoir une réalisation
- Calcul de la forme en flèche
- Matrice de passage vers la forme avec les paramètres physiques
- Non unicité structurelle (choix des signes). 32 dans le cas d'un 10-pôles.
- Autres non-unicité : le nombre de solutions est-il constant ?



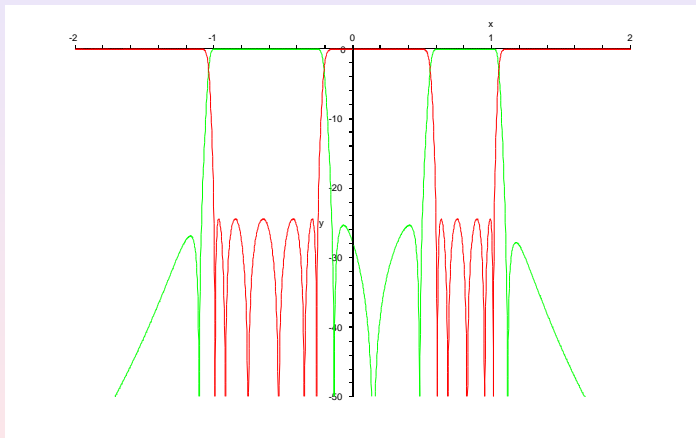
Filtre théorique, dissymétrique autocorrugué



36 solutions réelles; 384 solutions complexes
(Cameron, Faugère, Seyfert).

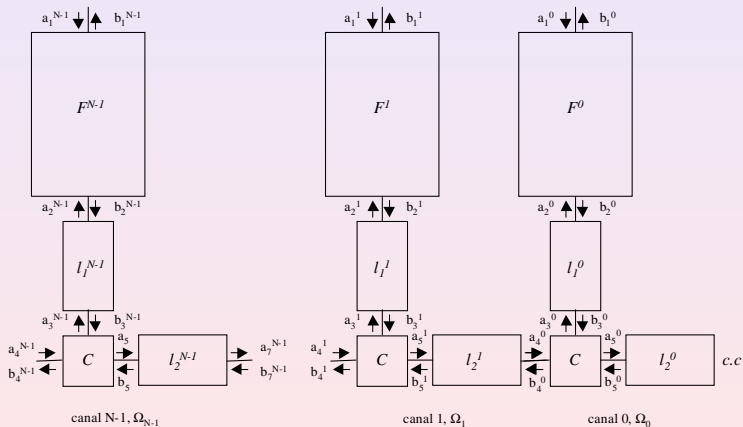


Synthèse b bande



Problème de Zolotarev (V. Lunot)

Schéma de l'OMUX



- Travail en cours
- Modéliser le T
- Trouver les longueurs (retard)

