

Mémo synthétique de cours

du système à la fonction, L1, année 2011-2012

Note : le but de ce document n'est pas de remplacer les notes que vous avez prises en amphé.
Ce document sert à lister les points importants que nous avons vu ensemble,
afin que vous puissiez les approfondir en relisant vos notes de cours.

1 Bases théoriques

1.1 Rappels de cours

Tension (en Volts) = différence de potentiel => entre deux points, ou entre un point et la masse

Courant (en Ampères) = flux de charge, en Coulomb/seconde

Puissance : $P = U \cdot I = U^2 / R = R \cdot I^2$

Energie = puissance * temps (en kWh, Wh, W.s = Joules)

Loi d'Ohm : $U = R \cdot I$

Loi d'Ohm généralisée : $U = Z \cdot I$ (avec Z complexe)

Résistances en série, en parallèle

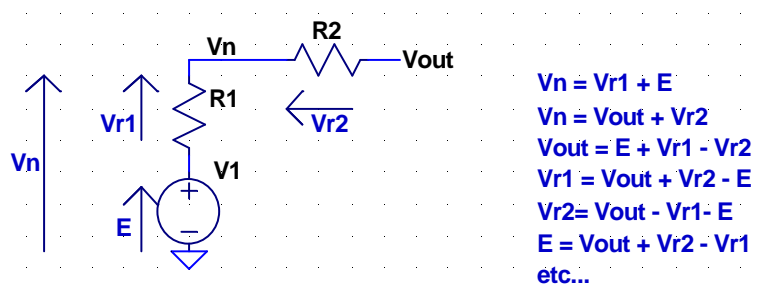
Pont diviseur de tension (Cf cours d'électricité générale) : $V_1 = E \cdot R_1 / (R_1 + R_2)$

Pont diviseur de courant (Cf cours d'électricité générale) : $I_1 = I \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$

Loi des nœuds (Cf cours d'électricité générale) : la somme des courants entrant sur un nœud est égale à la somme des courants sortants : $\sum I_{in} = \sum I_{out}$

Loi d'additivité des tensions. Au sein d'une maille, la somme des tensions est nulle.

Les tensions dans une maille s'additionnent suivant des **règles analogues à celles des vecteurs**. Exemples :



Générateurs de Norton et de Thévenin : tout géné de Norton est équivalent à un géné de Thévenin (et réciproquement) avec $R_{th}=R_n$, $E_{th}=R_{th} \cdot I_n$

Tout réseau linéaire est modélisable par un géné de Thévenin, avec :

- E_{th} = tension de sortie à vide du réseau
- R_{th} = résistance équivalente vue depuis la sortie du réseau, avec les générateurs coupés (géné I = circuit ouvert, géné U = court-circuit)

2 Le télégraphe et l'électricité : les prémices

2.1 L'électricité, vecteur de communication

Vitesse de transmission de l'électricité très élevée => adaptée à la communication rapide.

Pour circuler, le courant a besoin d'un **chemin 'aller'** et d'un **chemin 'retour'**.

2.2 Principe du télégraphe

Sur **1 seul fil, retour par la terre** : cela suffit pour faire circuler un courant. C'est économique.

2.3 Codage de l'information

Besoin de coder le message en information électrique : le Morse basé sur du **tout-ou-rien**.

Seuls deux états possibles sur la ligne (courant ou pas) => peu sensible au bruit.

2.4 Problèmes des communications à longue distance

Pertes de puissances dues à l'effet **Joule** (la résistance série des fils devient non négligeable sur de longues distances) et aux **fuites de courant** dans l'isolant (modélisées par une résistance d'un fil à l'autre, qui devient non infinie sur de longues distances)

Il faut compenser les pertes de puissance :

- Sortie à niveau plus fort pour l'émetteur
- Meilleure sensibilité pour l'entrée du récepteur
- Régénération ou amplification sur la ligne

3 Modélisation des composants en télécommunication

3.1 La représentation quadripôle

3.1.1 Représentation complète

$h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22} = 4$ valeurs (appelées **paramètres en S**) qui peuvent dépendre de la fréquence et être de type complexe (partie réelle + partie imaginaire)

Complicé à manier, mais suffisant pour décrire entièrement le fonctionnement du quadripôle.

3.1.2 Représentation simplifiée

On considère que h_{21} est négligeable. Cela facilite les calculs.

L'électronique d'aujourd'hui est adaptée à cette modélisation simplifiée (les amplis d'aujourd'hui ont effectivement un h_{21} négligeable), sauf dans certains cas (RF, forte puissance, etc...).

3.1.3 Caractérisation d'un quadripôle en représentation simplifiée

Facteur de transfert en tension : V_{out}/V_{in}

Facteur de transfert en courant : I_{out}/I_{in}

Facteur de transfert en puissance : P_{out}/P_{in} ou bien $P_{out_avec_quadripôle} / P_{out_sans_quadripôle}$

3.2 Modélisation d'une transmission

3.2.1 Modélisation

Une transmission = 1 générateur (modèle Thévenin), 1 ligne, 1 récepteur (charge)

3.2.2 Mesure des puissances

Utilité du dB : pouvoir mesurer sur une même échelle des valeurs très éloignées en ordre de grandeur.

Principe : au lieu de manier la valeur d'une puissance, on manie son log en base 10 (c'est le Bel). Le décibel est un dixième de Bel, soit :

Pour une puissance en dB : $P_{dB} = 10 \cdot \log(|P|)$ (valable aussi pour les ratios de puissances)

Pour les tensions, et courants : $U_{dB} = 20 \cdot \log(|U|)$, $I_{dB} = 20 \cdot \log(|I|)$ (valable aussi pour les ratios)

(le '20' est notamment dû au fait que $P = U^2 / R = R \cdot I^2$)

Rappels sur les log : $\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$, $\log(1/a) = -\log(a)$

3.2.3 Exemple de calculs dans une chaîne de transmission

Dans une chaîne d'éléments qui amplifient ou atténuent la puissance :

- les gains de puissance (P_{out}/P_{in} , en W/W, donc sans unités) se multiplient
- les gains de puissance en dB (positifs pour une amplification, négatifs pour une atténuation) s'additionnent.
- les gains de puissance ($P_{out}/P_{in} > 1$) correspondent à des dB positifs, les atténuations ($P_{out}/P_{in} < 1$) correspondent à des dB négatifs

4 La téléphonie

4.1 Le système téléphonique

4.1.1 Du télégraphe au téléphone

Du tout-ou-rien (Morse), on passe à l'**analogique** : un signal continu qui représente le signal audio

Nécessité de transducteurs qui permettent de transformer le son en signal électrique : microphone et haut-parleur.

4.1.2 Le système de téléphone point-à-point

Emetteur (microphone) en série avec récepteur (HP) : c'est le combiné téléphonique. Celui qui parle s'entend dans son propre haut-parleur, mais entend aussi ce que l'autre émet.

Certaines technologies de microphones ont besoin d'une tension continue pour fonctionner. On l'applique au combiné.

4.1.3 La ligne téléphonique

La paire différentielle offre une surface de boucle réduite par rapport au télégraphe à 1 seul fil + terre. Th de Gauss => **réduction du bruit** causé par les champs magnétiques.

En torsadant la paire (paire différentielle torsadée), les orientations des surfaces se compensent => on réduit encore le bruit

4.1.4 Le réseau

Problématique : relier plusieurs postes d'abonnés au moindre coût

Commutateurs (nœuds de réseau) : réduction du nombre de liaisons nécessaires pour permettre des communications entre tous les abonnés du réseau. Une technologie qui a beaucoup évolué (de l'opérateur humain jusqu'au CPU hautes performances).

Nœuds reliés entre eux par des liens multiples (ou à haut débit). Les nœuds sont reliés aux abonnés par des liens simples (plus bas débit)

Centralisation de l'alimentation des combinés dans les nœuds de réseau.

4.1.5 Le système fax

Principe : convertir une page en pixels, puis en un signal tout-ou-rien, que l'on envoie sur une ligne téléphonique.

4.1.6 Distance, atténuation, amplification

Nécessité de l'amplification, comme pour le télégraphe, pour compenser les pertes.

5 L'amplification

5.1 Le modèle de l'amplificateur

Quadripôle modèle de l'amplificateur : R_e , V_s , R_s

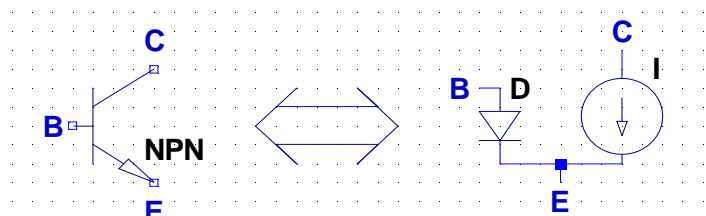
Ampli idéal : $R_e = \text{infini}$, $R_s = 0$.

5.2 Les transistors

5.2.1 Le transistor NPN (technologie bipolaire)

Fonctionnement **linéaire** : $I_c = \beta \cdot I_b$,

$V_{be} \sim 0.6V$ (si $I_b = 0$, cas particulier : bloqué)



Fonctionnement **saturé** : si $V_{ce} \leq V_{cesat}$, I_c ne peut plus augmenter et plafonne. $I_c < \beta I_b$

Amplificateur en émetteur commun avec résistance de base et d'émetteur (voir TD) :

- Amplificateur analogique
- Amplificateur tout-ou-rien (mise en saturation, fonctionnement saturé ou bloqué)

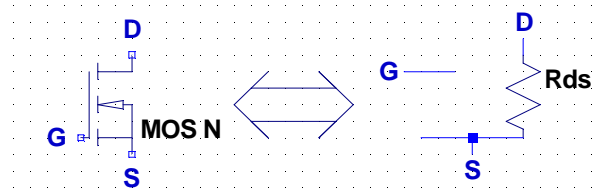
Le symétrique du transistor NPN est le transistor PNP.

Les deux sont une techno moins utilisée de nos jours sauf pour la RF.

5.2.2 Le transistor MOSFET N (technologie CMOS)

R_{ds} varie en fonction de V_{gs} (courbe : Cf ampli)

- zone bloquée ('off') : $V_{gs} < V_{gsth}/2 \Rightarrow R_{ds} \sim \infty$
- zone passante ('on') : $V_{gs} > 2 \cdot V_{gsth} \Rightarrow R_{ds} \sim R_{dson}$
- ou entre les deux



Amplificateur en source commune avec résistance de base (voir TD)

- Amplificateur analogique (non vu en TD)
- Amplificateur tout-ou-rien (fonctionnement en 'on' ou 'off')

Le symétrique du MOSFET N est le MOSFET P.

Plus utilisé que le bipolaire car pertes de puissance moindres et les vitesses de commutation plus élevées. Quasi tous les circuits intégrés numériques sont aujourd'hui basés sur cette technologie.

5.3 L'amplificateur opérationnel

5.3.1 Caractéristiques intrinsèques

Gain extrêmement grand (idéalement infini) \Rightarrow en fonctionnement linéaire : $V_e \approx 0$

Impédance d'entrée extrêmement élevée (idéalement infinie) $\Rightarrow I_e \approx 0$

Gain inverse (h_{21}) idéalement nul \Rightarrow ok pour utilisation du modèle de quadripôle simplifié

5.3.2 Montages

Ampli non inverseur : voir TD 2.

Ampli inverseur : voir TD 5

Additionneurs, intégrateurs, dérivateurs, filtres actifs sont réalisables (le web est riche en la matière)

6 Filtrage

6.1 La représentation fréquentielle

Tout signal a une **représentation temporelle et spectrale** (transformée de Fourier)

6.2 But du filtrage

Un filtre est un quadripôle.

Caractéristiques d'un filtre = **fonction de transfert** : $H(j\omega) = V_{out} / V_{in}$ (avec $\omega = 2\pi \cdot f$)

6.3 Le passe-bas RC

6.3.1 En transitoire

Analyse impulsionnelle : on observe le comportement de V_{out} en réponse à un échelon de V_{in} :

$V_{out} = 1 - e^{-(t/\tau)} \cdot V_{in}$ (phénomène appelé 'charge capacitive')

Effet sur un signal de fréquence 'plutôt basse' : peu d'atténuation

Effet sur un signal de fréquence 'plutôt haute' : forte atténuation

6.3.2 En fréquentiel

On analyse le filtre à l'aide des modèles HF et BF

Type de composant	HF ($f \rightarrow \infty$)	BF ($f \rightarrow 0$)
Résistance	$Z = R$	$Z = R$
Condensateur	$Z \rightarrow 0$	$Z \rightarrow \infty$
Inductance	$Z \rightarrow \infty$	$Z \rightarrow 0$

Le filtre RC est un filtre du premier ordre (1 seul élément filtrant)

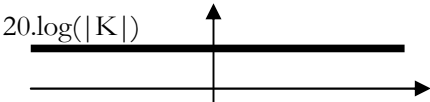
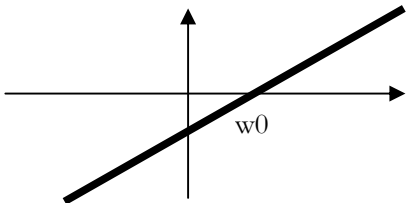
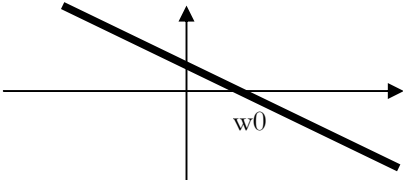
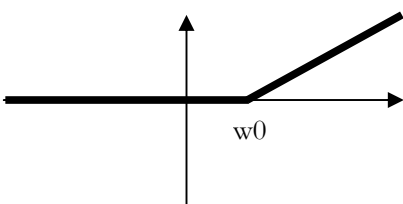
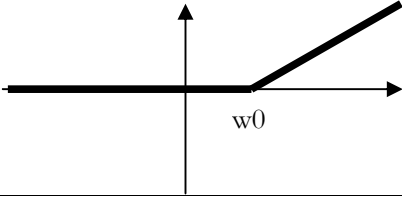
6.4 Diagramme de Bode

Le diagramme de Bode a pour but de tracer la valeur de **$H(j\omega)$ en dB** (soit $20 \cdot \log(|H(j\omega)|)$) en fonction de ω ou de f , sur un diagramme dont l'axe des abscisses représente f ou ω **sur une échelle logarithmique**.

6.4.1 Les fonctions de base

On se sert de 5 fonctions de base :

$$y=K, y=j\omega/\omega_0, y=1/(j\omega/\omega_0), y=1+j\omega/\omega_0, y=1/(1+j\omega/\omega_0)$$

Fonction de base	Diagramme de Bode associé
$H(j\omega) = K$ (note : $20 \cdot \log(K)$ peut être négatif)	
$H(j\omega) = j\omega/\omega_0$	
$H(j\omega) = 1 / (j\omega/\omega_0)$	
$H(j\omega) = 1 + j\omega/\omega_0$	
$H(j\omega) = 1 / (1 + j\omega/\omega_0)$	

Les pentes des fonctions de base sont des pentes de 1er ordre : +1 ou -1, soit +20dB/décade ou -20dB/décade, soit +6dB/octave ou -6dB/octave.

Le **tracé réel** passe à **3dB** du tracé asymptotique.

6.4.2 Mode d'emploi du tracé de Bode

La méthode pour tracer un diagramme de Bode est la suivante :

- déterminer fonction de transfert du circuit (V_{out} / V_{in})
- décomposer fonction de transfert en fonctions de base (Cf cours)
- tracer les diagrammes de Bode partiels de chaque fonction de base (Cf cours)
- additionner les diagrammes de Bode partiels => courbe asymptotique
- tracer la courbe réelle (passe à 3dB maxi d'une cassure de pente d'ordre 1)

Ne pas oublier :

Pente 1 = +20dB/décade, pente 2 = +40dB/décade, etc... (l'ordre d'une pente est obligatoirement entier)

Une décade = multiplication par 10 de w (ou f), deux décades = multiplication par 100, etc...

Nommer les axes : abscisses = w (ou f) en log, ordonnée = $|H(jw)|$ en dB

6.5 *Filtres analogiques*

6.5.1 Introduction aux filtres complexes

Pour avoir des pentes de coupures plus raides ou plus nombreuses, on utilise plusieurs éléments filtrants. L'ordre du filtre est égal (en général) au nombre d'éléments filtrants.

Un ordre plus élevé permet d'obtenir des pentes supérieures à 1 (pour avoir une pente -3, il faut un ordre 3). L'ordre du filtre est obligatoirement entier.

Types de réponse des filtres : butterworth, chebychev, bessel.

Implémentation sous forme active ou passive, complexe => faire aider d'un logiciel.

6.5.2 Filtrage actif

Utilisation d'un AOP :

- résistance d'entrée plus élevée (bénéfice de l'AOP)
- résistance de sortie faible à nulle (ou presque, grâce à l'AOP)
- amplification en même temps que le filtrage
- le gain et la fréquence de coupure ne dépendent pas des impédances de ce qu'il y a en entrée et en sortie.
- plus cher, plus complexe, pas toujours adapté aux forts courants

6.6 *Filtrage numérique*

6.6.1 Echantillonnage et quantification d'un signal

Numérisation d'un signal = conversion d'un signal analogique en données numériques

Echantillonnage : prise d'échantillons à intervalles temporels réguliers => discrétisation du temps

Quantification : conversion de valeur réelle vers $K * n$, avec n entier => arrondi, discrétisation des valeurs

6.6.2 Un filtre numérique simple : la moyenne mobile

La moyenne mobile d'un signal numérique $S(i)$, (avec $i=0,1,2, \dots$) est notée $Mn(i)$.

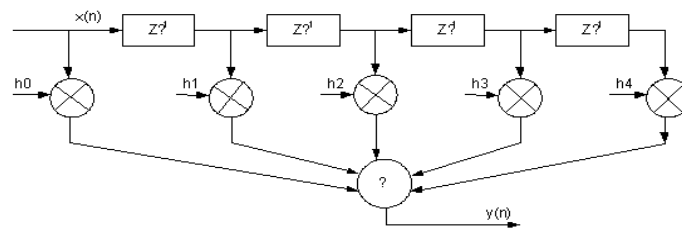
$$Mn(i) = \text{moyenne}(S(i), S(i-1), \dots, S(i-n)) = 1/n.S(i) + 1/n.S(i-1) + \dots + 1/n.S(i-n)$$

La moyenne mobile a un effet de filtre passe-bas :

- les variations lentes du signal S sont conservées
- les variations rapides du signal S sont atténuées

La moyenne mobile $n^{\circ}i$ se calcule par la somme des valeurs $S(i)$ à $S(i-n)$, pondérées d'un coefficient $h_0=h_1=\dots=h_n=1/n$.

Le diagramme fonctionnel est le suivant (pour $n=4$) :



6.6.3 Filtres numériques

En reprenant le mécanisme de la moyenne mobile : si on change les coefficients h_0, h_1, \dots, h_n , on peut réaliser un autre filtre. Le filtre s'appelle alors un filtre FIR (Finite Impulse Response).

On peut notamment réaliser avec cette architecture des passe-bas, passe-haut, passe-bande.

La moyenne mobile n'est qu'un cas particulier de FIR où tous les coefficients ont la même valeur.

D'autres filtres existent : les IIR (Infinite Impulse Response, pas au programme de ce cours)

6.7 Applications des filtres

- Filtrage de bruit hors bande (=non désiré), par exemple : bruit, signaux parasites hors bande.
- Correction grave-aigu sur signal audio (pour compenser des imperfections de diagramme de Bode de certains microphones ou haut-parleurs par exemple)
- Moyennage de signaux issus de capteurs (moyenne mobile très utilisée)
- Equalisation en fin de ligne pour les transmissions HF sur ligne pour compenser le comportement passe-bas de la ligne.
- Intégration / dérivation : un passe-bas se comporte comme un intégrateur, un passe-haut comme un dérivateur, et vice-versa.