



du Système à la Fonction

Cours de transmission de l'information
et d'électronique générale

EFREI – L1 – Février 2013

Pierre Prot – prot@efrei.fr – **REFLEX**
Custom Embedded Systems

Layout by omgjee23, CC-BY

1

Plan de cours

- Introduction
 - Objectifs de ce cours
 - Introduction à la transmission d'information
 - Rappels de base en électronique
- Cours
 - La transmission électrique
 - La fonction amplification
 - La fonction filtrage
 - Applications

Layout by omgjee23, CC-BY

2

Objectifs de ce cours Pourquoi venir à ce cours ?

- Culture technique de l'ingénieur
 - Electronique et telecoms de base
 - Notion d'information, de puissance, d'énergie : importants dans d'autres domaines techniques
 - Bagage technique considéré comme maîtrisé par tout ingénieur, culture commune
- Entraînement à la réflexion multidisciplinaire
 - Passer de la pratique à la théorie et réciproquement
 - Apprendre quand et comment faire des approximations

Layout by omgjee223, CC-BY

3

Objectifs de ce cours Pourquoi sécher ce cours ?

- Pour :
 - mieux passer pour un inculte
 - éviter de savoir réfléchir sur des sujets multidisciplinaires
 - ne surtout rien connaître en électronique hardware, en électricité de base, en distribution d'énergie, en télécoms, etc...
 - échouer à valider la matière (20-25% des étudiants)
- Parce que le cours est peut-être trop facile
 - Hum... pour certains seulement ! :-)
- Etc...

Layout by omgjee223, CC-BY

4

Introduction : historique de la transmission d'information

- le messenger, le « avis à la population »
- le courrier écrit, le coursier, le service postal...
- les messages codés : signes, fanions, télégraphe...
- le télégraphe électrique, le code Morse
- le téléphone électrique « analogique »
- le télécopieur, la télécopie
- le réseau téléphonique
- la téléphonie numérique
- la téléphonie sans fil
- internet

Layout by omgjee223, CC-BY

5

Introduction : historique de la transmission d'information

- Communiquer à distance : un besoin de l'homme
- Qualités de la communication :
 - Intégrité de l'information transmise
 - Rapidité
 - Fort volume de donnée par unité de temps : débit
 - Temps de transport d'un bloc d'information unitaire : temps de latence
 - Confidentialité
 - Fiabilité, disponibilité
 - Capacité de couverture

Layout by omgjee223, CC-BY

6

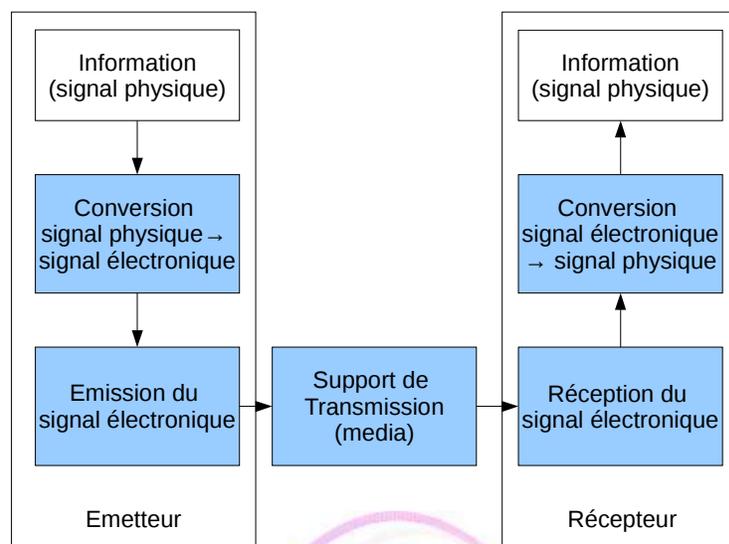
Introduction : l'électricité comme support de communication

- Caractéristiques de l'électricité utiles :
 - Transmission de l'onde électrique : très rapide
 - Capacité à voyager sur la distance
 - Capacité à changer d'état rapidement
 - Peu d'énergie nécessaire au transport d'information
- Problématiques :
 - Problématiques de bruit et de transport longue distance
 - Amplification, filtrage
 - Nécessité de convertir l'information en électricité
 - Transducteurs

Layout by omgjee223, CC-BY

7

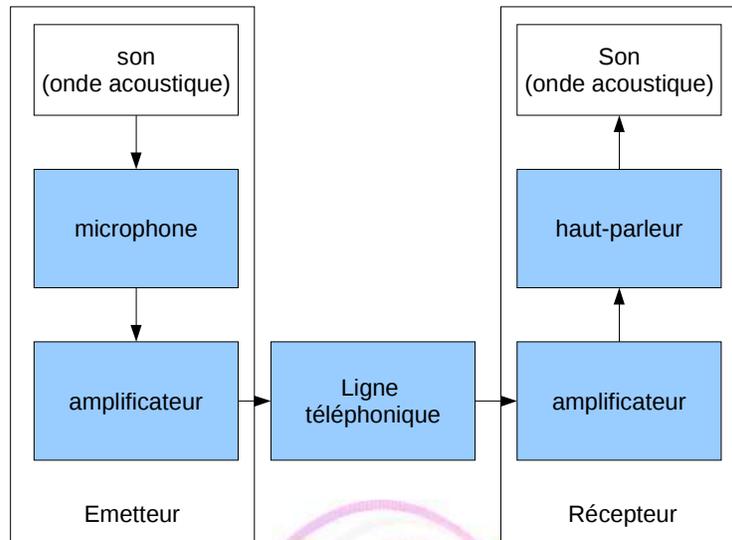
Introduction : schéma d'une transmission électronique



Layout by omgjee223, CC-BY

8

Exemple d'une transmission téléphonique



Layout by omgjee223, CC-BY

9

Introduction : l'objet de ce cours

- Emission de l'information
 - Amplification
 - Filtrage
- Transmission de l'information
 - Lignes de transmission
 - Pertes, régénération (amplification)
 - Atténuation hautes fréquences, égalisation
- Réception de l'information
 - Amplification
 - Filtrage

Layout by omgjee223, CC-BY

10

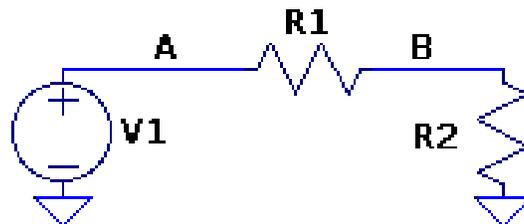
Rappels d'électronique la tension électrique

- Différence de potentiel, en Volts (V)
 - Entre deux noeuds (équipotentiels) : $V_{ab} = V_a - V_b$
 - Entre un noeud et la masse : $V_a = V_a - V_{masse}$, @ $V_{masse} = 0$
- Equivaut à une “différence de pression électrique”
- Peut être :
 - Imposée par un générateur de tension
 - positive ou négative
 - continue (DC), varier dans le temps, alternative (AC)...
 - notée sur le schéma par une flèche semblable à un vecteur

Layout by omgjee223, CC-BY

11

Rappels d'électronique : la tension électrique



Layout by omgjee223, CC-BY

12

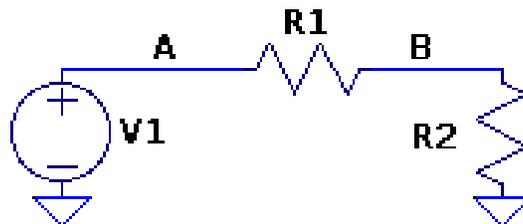
Rappels d'électronique : Le courant électrique

- Flux de charge électrique, en ampères (A) = Coulombs / seconde ($C.s^{-1}$)
 - “quantité de courant” passant dans un point donné, par unité de temps
- Peut être :
 - positif ou négatif
 - continu (DC), varier dans le temps, alternatif (AC)...
 - Noté sur le schéma par une flèche sur un fil
- Convention générateur : le courant “sort”
- Convention récepteur : le courant “entre”

Layout by omgjee223, CC-BY

13

Rappels d'électronique : le courant électrique



Layout by omgjee223, CC-BY

14

Rappels d'électronique : la loi d'Ohm

- Convention récepteur
- $U = R \cdot I$
- $I = U / R$
- Impédance complexe (condensateurs, inductances)
 - $Z = a + j.b$
 - $U = Z \cdot I$



Layout by omgjee223, CC-BY

15

Rappels d'électronique : la puissance

- $P = U \cdot I$
 - En Watt
 - Valable :
 - en DC
 - en AC avec des $Z = a + j.b$
 - en instantané : $P(t) = U(t) \cdot I(t)$
- Couplé avec la loi d'ohm :
 - $P = (R \cdot I) \cdot I \Rightarrow P = R \cdot I^2$
 - $P = U \cdot (U / R) \Rightarrow P = U^2 / R$
- Quantité d'énergie par unité de temps

Layout by omgjee223, CC-BY

16

Rappels d'électronique : le signe de la puissance

- Convention générateur
 - Si $P > 0 \Rightarrow$ le générateur émet de la puissance électrique dans le circuit
 - Autre source d'énergie
- Convention récepteur
 - si $P > 0 \Rightarrow$ le composant reçoit (et donc consomme) de la puissance électrique dans le circuit
 - Produit du travail

Layout by omgjee223, CC-BY

17

Rappels d'électronique : L'énergie

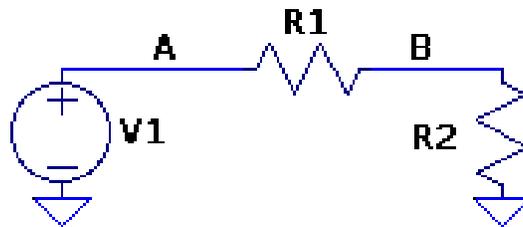
- Puissance multipliée par le temps durant lequel elle est développée
- $dE = dP \cdot dt$
- $E = \int_{de\ 0\ \text{à}\ T} (P(t).dt)$
- Exemples :
 - 1W pendant 1s =
 - 1W pendant 1h =
 - 1kW pendant 1h =
 - 10W pendant 1 journée =
 - 1kWh dépensé en 2h =

Layout by omgjee223, CC-BY

18

Rappels d'électronique : Loi d'additivité des tension

- Loi des mailles :
 - “Au sein d'une maille, la somme des tensions est nulle”

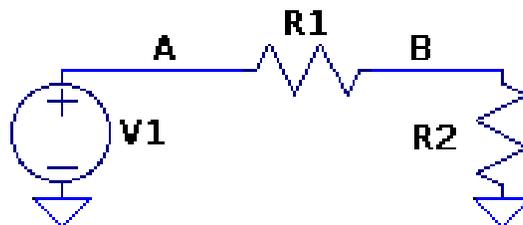


Layout by omgjee223, CC-BY

19

Rappels d'électronique : Loi d'additivité des tension

- En pratique :
 - Les tensions s'additionnent comme des vecteurs

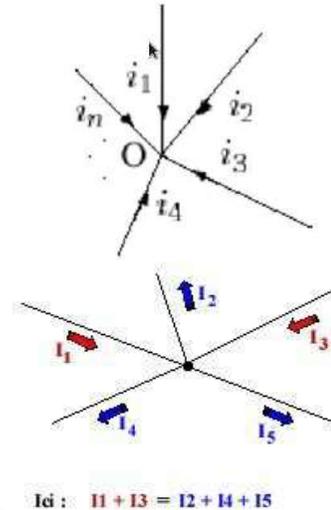


Layout by omgjee223, CC-BY

20

Rappels d'électronique : loi des noeuds

- Loi de Kirchhoff :
 - La somme des courants entrant sur un noeud est nulle
- Corollaire :
 - La somme des courants entrant sur un noeud est égale à la somme des courants sortant du noeud
- En pratique :
 - Imaginer que c'est de l'eau !

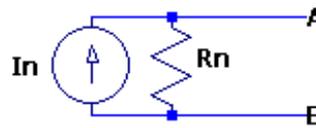
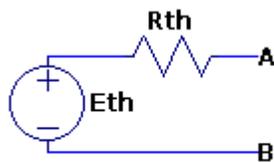


Layout by omgjee223, CC-BY

21

Rappels d'électronique : Thévenin et Norton

- Génér de Thévenin
- Générateur de Norton



Layout by omgjee223, CC-BY

22

Rappels d'électronique : conversion Norton - Thévenin

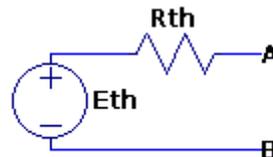
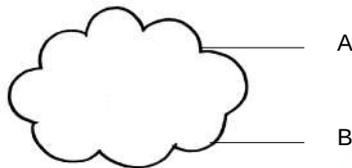
- Tout générateur de Thévenin peut être converti en un générateur de Norton avec :
 - $I_n =$
 - $R_n =$
- Tout générateur de Norton peut être converti en un générateur de Thévenin avec :
 - $E_{th} =$
 - $R_{th} =$

Layout by omgjee223, CC-BY

23

Rappels d'électronique : Théorème de Thévenin

- Tout circuit linéaire peut être converti en un générateur de Thévenin, avec :
 - E_{th} = tension de sortie à vide du circuit
 - R_{th} = résistance équivalente entre les deux points de sortie du circuit, avec les générateurs de tension coupés
 - Génés de courant : $I = 0 \Rightarrow$ remplacés par circuits ouverts
 - Génés de tension : $V = 0 \Rightarrow$ remplacés par court-circuit



Layout by omgjee223, CC-BY

24

Rappels d'électronique : Théorème de Thévenin, méthode

- Délimiter précisément “le circuit” à convertir. Il ne doit avoir que deux points dits “de sortie”
- Calculer la tension entre les deux points de sortie du circuit, connectés “à rien d'autre” (ie : “à vide”)
 - => c'est E_{th}
- “Couper les générateurs”
 - Génés de courant => $I = 0$ => circuit ouvert
 - Génés de tension => $V = 0$ => court-circuit
- Redessiner le circuit, générateurs coupés
- Calculer la résistance équivalente de la sortie du circuit
 - => c'est R_{th}

Rappels d'électronique : Théorème de Norton

- Il existe, demander Wikipedia
- Pas au programme, car Thévenin suffit à embrouiller suffisamment les étudiants

Rappels d'électronique : Résistances en série

- $R_{\text{equ}} =$

- Plus de 2 en série ?

- $R_{\text{equ}} =$



Rappels d'électronique : Résistances en parallèle

- $R_{\text{equ}} = R1 // R2$

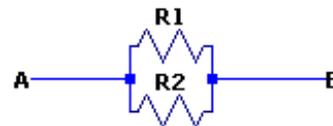
- (notation pratique !)

- $R_{\text{equ}} =$

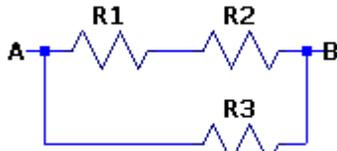
- Plus de 2 en parallèle ?

- $1/R_{\text{equ}} =$

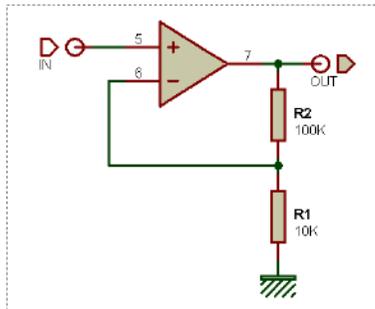
- (les admittances se somment)



Rappels d'électronique : Résistances PAC



Montage en amplificateur non-inverseur :

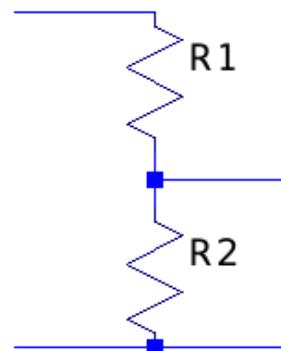


Layout by

29

Rappels d'électronique : Pont diviseur de tension

- $V1 =$
- $V2 =$
- $V = V1 + V2$
 - (loi des mailles !)

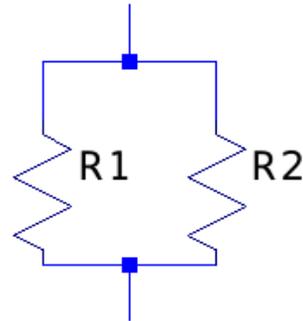


Layout by omgice223, CC-BY

30

Rappels d'électronique : Pont diviseur de courant

- $I_1 =$
- $I_2 =$
- $I = I_1 + I_2$
 - (loi des noeuds !)



La transmission électrique

- Procédé de la transmission électrique
- Modélisation d'une transmission électrique
 - Imperfections
 - Schématisation électriques
- Problématique d'atténuation
 - Causes, calculs d'atténuation
 - Le décibel
- Problématique de filtrage passe-bas
 - Causes
 - Effets

La transmission contraintes électriques

- Le courant électrique circule en circuit fermé
 - 1 Aller
 - 1 Retour



Layout by omgjee223, CC-BY

33

La transmission d'énergie

- Générateur
- Ligne de transmission
- Récepteur



Layout by omgjee223, CC-BY

34

La transmission d'information

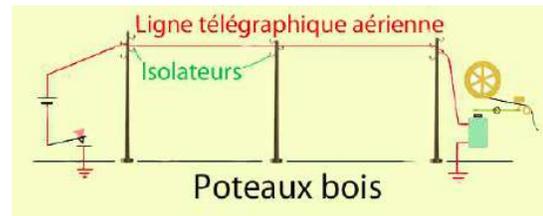
- Transmettre de l'énergie = transmettre une information
 - Présence / absence
 - Amplitude
 - Fréquence
 - ...
- Nécessité d'un codage information → énergie
 - Codage binaire
 - Morse
 - Signal analogique
 - Modulation
 - ...

Layout by omgjee223, CC-BY

35

La transmission : La terre comme fil de retour

- Fil aller + fil retour = cher !
- Terre = conducteur (quelques ohms)
 - Division par deux de la quantité de fil de cuivre



Layout by omgjee223, CC-BY

36

La transmission : Bruit électromagnétique

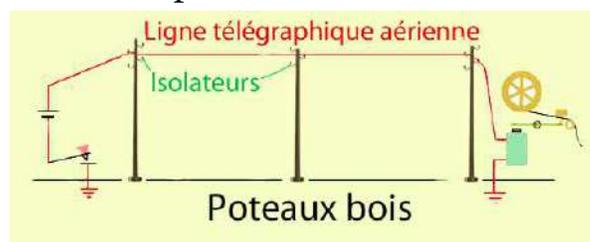
- Existence d'un bruit électromagnétique ambiant
- Le courant induit dans une boucle de courant est proportionnel à :
 - La dérivée du champ magnétique
 - La surface de la boucle
- Conclusion :
 - Pour avoir moins de bruit, il faut minimiser la surface de boucle

Layout by omgjee223, CC-BY

37

La transmission : Réduction du bruit électromagnétique

- 1 fil avec retour par la terre



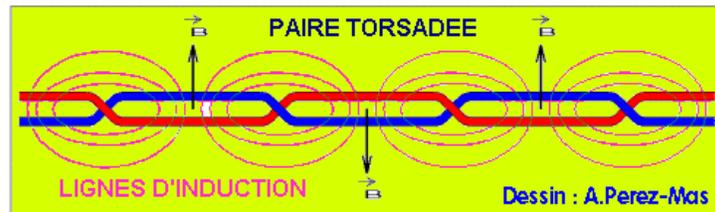
- 2 fils proches (paire différentielle)

Layout by omgjee223, CC-BY

38

La transmission : Réduction du bruit électromagnétique

- Paire différentielle torsadée
 - Sens des surfaces alterné d'une boucle à l'autre
 - => compensation des courants induits
 - Très résistant aux perturbations
 - Très faible émission de champs électromagnétiques



Layout by omgjee223, CC-BY

39

La transmission : pertes par effet Joule

- Tout conducteur est résistif

Matériau	Conductivité thermique W / m / °C	Coefficient de dilatation ppm / °C	Résistivité électrique microhm.cm	densité
Aluminium	237	23,5	2,67	2,67
Cuivre	401	16,6	1,60	8,95
Cu-Mo 1585	184	6,6		9,9
Cu-W 1090	230	6		17,3
Denal (Fe-Ni-W)	105	5,8	16	17,4
Fe	88,6	13,9	12	7,2
Invar (Fe64-Ni36)	13	0,6 à 1,2	80	8,1
Kovar (Fe-Ni-Co)	16,7	5,04	49	8,37
Laiton (Cu70-Zn30)	112	19,2	7	8,55
Molybdène	140	5,5	5,5	10,22

Caractéristiques des métaux les plus courants

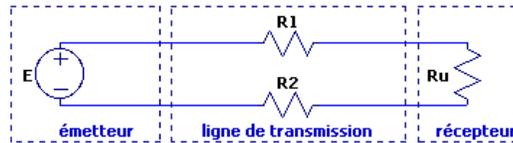
- Sur une longue distance : un fil peut être très résistif
 - Perte de puissance = $R \cdot I^2$

Layout by omgjee223, CC-BY

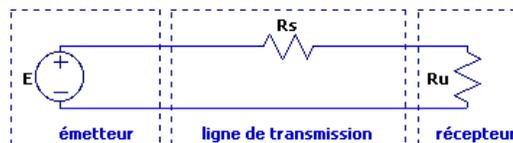
40

La transmission : pertes par effet Joule

- Modélisation de la résistance du fil :



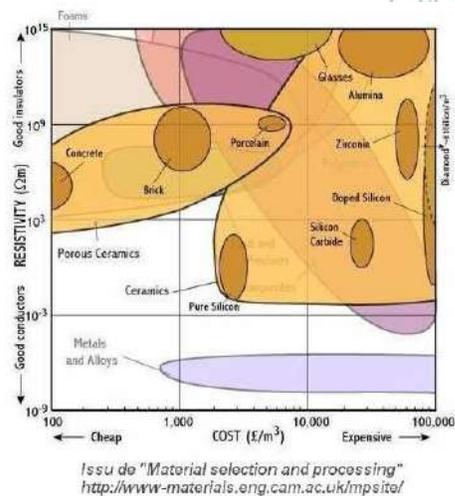
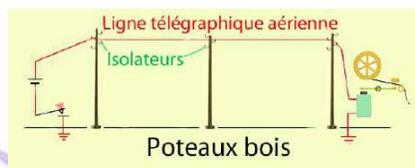
- Equivalent à :



Layout by omgjee223, CC-BY

La transmission : pertes par fuite de courant

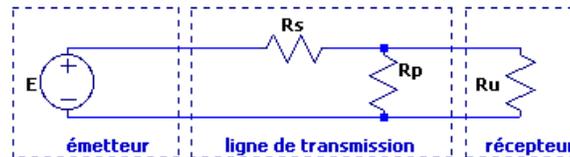
- Tout isolant présente des fuites de courant
- Fuites de courant dans l'isolant
 - => le courant envoyé dans la ligne n'arrive pas à 100% au bout



Layout by omgjee223, CC-BY

La transmission : pertes par fuites de courant

- Modélisation de la résistance de l'isolant :



- Notes

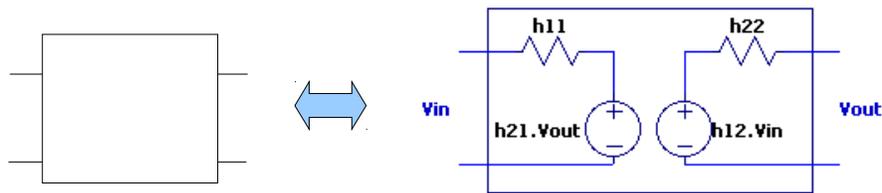
- le courant de fuite reste faible (quelques nA, μ A, mA) devant le courant nominal dans la ligne

La transmission : conséquence des pertes

- Les pertes de puissances impliquent :
 - Baisse de la puissance reçue par le récepteur
 - A bruit identique, dégradation du SNR
 - Distance maximale d'émission
- Pour compenser les effets dus aux pertes :
 - Niveau plus fort en sortie
 - Amplification, régénération au milieu de la ligne
 - Revient à "aller moins loin"
 - Récepteur plus sensible

La transmission : Modélisation en quadripôle

- Tout quadripôle linéaire peut être modélisé par le modèle complet (ou “impédances”) du quadripôle
 - Appelé également “paramètres en h” ou “en s”
 - Par convention : courants entrants



Layout by omgjee223, CC-BY

45

La transmission : Modélisation en quadripôle

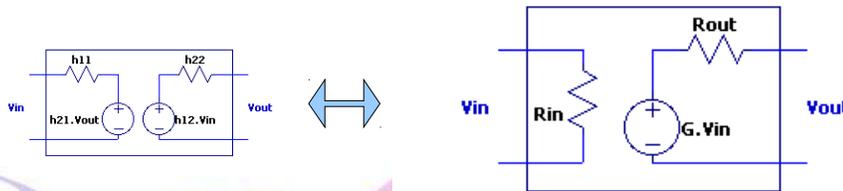
- Détermination des coefficients un à un, en masquant les doubles effets :
 - $h_{11} = V_{in} / I_{in}$, avec $V_{out} = 0$
 - Impédance d'entrée
 - $h_{12} = V_{out} / V_{in}$, avec $I_{out} = 0$
 - Gain direct (forward gain)
 - $h_{22} = V_{out} / I_{out}$, avec $V_{in} = 0$
 - Impédance de sortie
 - $h_{21} = V_{in} / V_{out}$, avec $I_{in} = 0$
 - Gain inverse (reverse gain)

Layout by omgjee223, CC-BY

46

La transmission : Modélisation simplifiée du quadripôle

- Modèle simplifié
 - Impédance d'entrée
 - Génér de Thévenin en sortie
 - Par convention : courants sortants
- Valable uniquement si $h_{21} \ll h_{12}$
 - Ok pour la majorité des composants actifs modernes



Layout by omgjee223, CC-BY

47

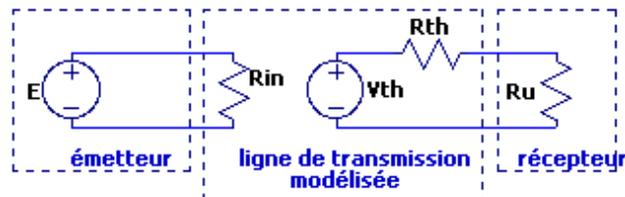
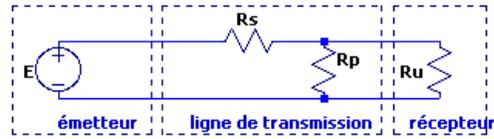
La transmission : Méthode de modélisation

- La modélisation d'un quadripôle Q en un quadripôle QM consiste à :
 - Identifier R_{in} , G , R_{out}
 - De telle manière que le modèle de quadripôle QM soit exactement équivalent au quadripôle Q, c'est-à-dire :
 - L'entrée de QM est équivalente à l'entrée de Q
 - La sortie de QM est équivalente à la sortie de Q
- Normalement, il faudrait utiliser le modèle complet
 - On utilise quand même le modèle simplifié
 - ... mais il n'est vrai que pour une configuration donnée

Layout by omgjee223, CC-BY

48

La transmission : Modélisation quadripôle de la chaîne



Layout by omgjee223, CC-BY

49

La transmission : caractéristiques d'un quadripôle

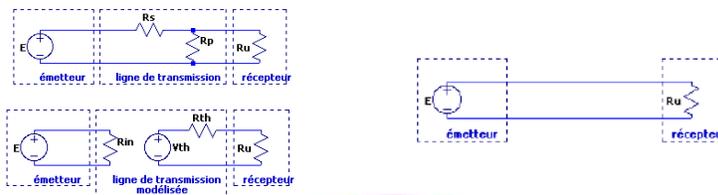
- Facteur de transfert en tension (gain en tension)
 - $G_v = V_{out} / V_{in}$
- Facteur de transfert en courant (gain en courant)
 - $G_i = I_{out} / I_{in}$
- Facteur de transfert intrinsèque en puissance (rendement)
 - Puissance fournie en sortie / puissance consommée en entrée
 - $\eta = P_{out} / P_{in} = (V_{out} \cdot I_{out}) / (V_{in} \cdot I_{in})$

Layout by omgjee223, CC-BY

50

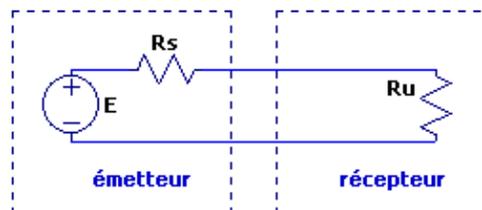
La transmission : caractéristiques d'un quadripôle

- Dans une chaîne :
 - G_v , G_i , η peuvent dépendre d'autres éléments de la chaîne
- Gain en puissance apporté par le quadripôle
 - $G_p = P_{out_avec_quadripôle} / P_{out_sans_quadripôle}$



51

La transmission : l'adaptation d'impédance



- Quel doit être la valeur de R_u pour extraire le maximum de puissance du générateur ?

52

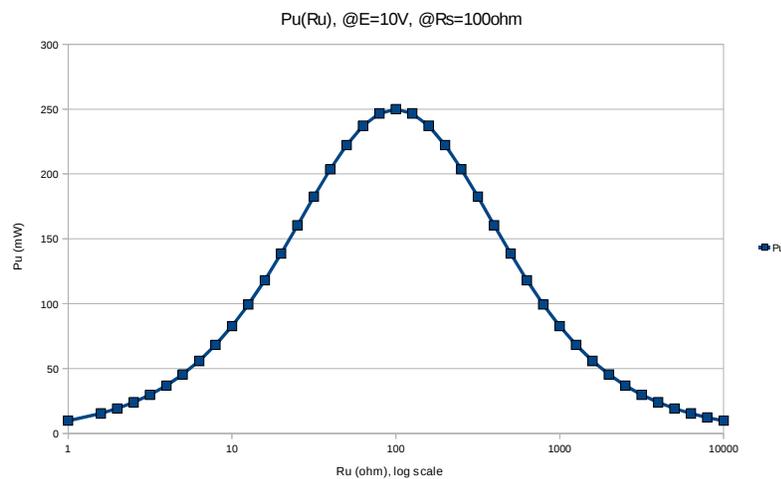
La transmission : l'adaptation d'impédance

- $R_u = \infty$ (ou bien $R_u \gg R_s$)
 - $I_u =$
 - $\Rightarrow P_u =$
- $R_u = 0$ (ou bien $R_u \ll R_s$)
 - $V_u =$
 - $\Rightarrow P_u =$
- Cas général :
 - $V_u = E \cdot R_u / (R_s + R_u)$
 - $P_u = V_u^2 / R_u = \dots = E^2 \cdot R_u / (R_s + R_u)^2$
 - Le maximum de P_u est atteint pour $R_u = R_s$

Layout by omgjee223, CC-BY

53

La transmission : l'adaptation d'impédance



Layout by omgjee223, CC-BY

54

La transmission : l'adaptation d'impédance

- Maximisation de $P_u \Rightarrow R_u = R_s$
 - Impédances adaptées
- Mesure de l'adaptation d'impédance :
 - ROS (Ratio d'Ondes Stationnaires)
 - $ROS = \max(Z_s / Z_u ; Z_u / Z_s)$
 - Bien adapté $\Rightarrow ROS = 1$
 - Pu maximal
 - Mal adapté $\Rightarrow ROS \rightarrow \infty$
 - Pu minimal, puissance dite "réfléchie"
 - Ne pas confondre avec TOS
 - http://fr.wikipedia.org/wiki/Rapport_d%27onde_stationnaire

La transmission : chiffrage des puissances en jeu

- Emission :
 - Téléphone filaire : 1mW à 10mW
 - Wifi, GSM : ~0.1 à 2W
 - Emission radio : 100W, 1kW
- Réception
 - Téléphone filaire : 0.1mW à 10mW
 - GSM, Wifi : quelques μ W
 - GPS : 0.1nW
- Palette des puissances difficile à représenter sur un seul intervalle

La transmission le Bel

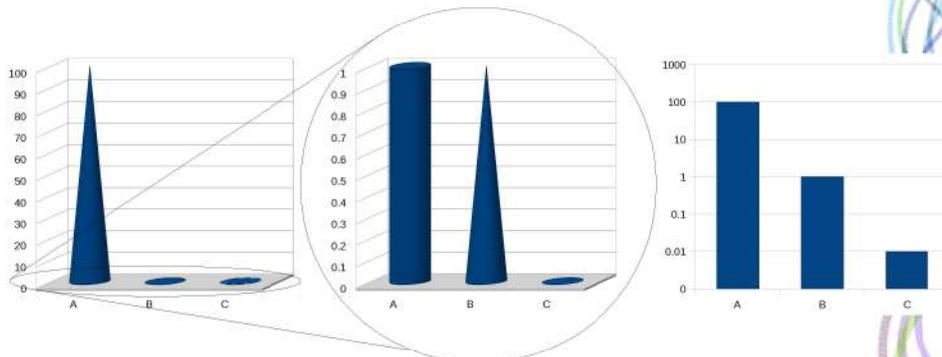
- Fonctionnement du Bel (Graham Bell) :
 - Au lieu de mesurer une puissance par “la valeur de sa puissance” (donc : en Watt)
 - On la mesure par “le log10 de la valeur de sa puissance”
- Exemple : le Bel
 - 1W =>
 - 10mW =>
 - 100W =>
 - 1 μ W =>
 - 1nW =>
- Si P est multiplié par 10 => P_Bel augmente de 1

Layout by omgjee223, CC-BY

57

La transmission l'échelle logarithmique

- Avantage : pouvoir représenter sur une même échelle des grandeurs d'ordres très disparates



Layout by omgjee223, CC-BY

58

La transmission le décibel de puissance

- 1 décibel = 1/10ème de Bel
 - 10dB =
 - 1dB =
- Mathématiquement :
 - $P_{\text{dBW}} = 10 \cdot \log_{10}(P_{\text{watt}})$
 - 1W =>
 - 10mW =>
 - 100W =>
 - 1μW =>
 - 1nW =>

Layout by omgjee223, CC-BY

59

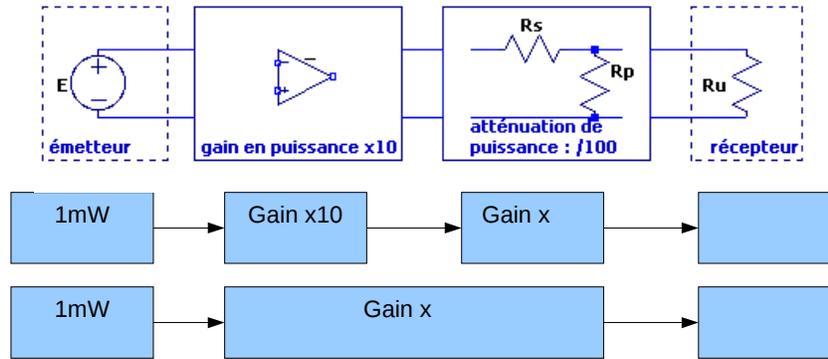
La transmission le décibel de puissance

- Le dBm = dB_miliWatt
 - $P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log_{10}(P_{\text{miliWatt}})$
 - 1mW =
 - 10W =
 - 1μW =
- Pour des gains (ratios) de puissance : le dB
 - $G_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10}(G)$
 - Gain de x1 =
 - Gain de x100 =
 - Gain de x0.01 =
 - Atténuation par 1000 =

Layout by omgjee223, CC-BY

60

La transmission : les gains dans une chaîne



- Les gains réels (P_{out}/P_{in}) se multiplient
- Les gains en dB : $10 \cdot \log_{10} (P_{out}/P_{in})$ s'additionnent
 - Normal : $\log(a \cdot b) = \log(a) + \log(b)$

Layout by omgjee223, CC-BY

61

La transmission : le décibel de tension

- $P = U^2 / R$
 - Si U est multiplié par 10, alors :
 - P (Watt) est multiplié par
 - P (dBW) augmente de
 - Donc : $U_{dBV} = 20 \cdot \log_{10} (U_{Volt})$
- Exemple (supposons que $R = 1 \text{ ohm}$)
 - 1V => W =>
 - 10V => W =>
 - 1mV => W =>
 - 1000V => W =>

Layout by omgjee223, CC-BY

62

La transmission : le décibel de courant

- $P = R \cdot I^2$
- Si I est multiplié par 10, alors :
 - P (Watt) est multiplié par
 - P (dBW) augmente de
 - Donc : $I_{\text{dBA}} = 20 \cdot \log_{10}(I_{\text{ampère}})$
- Exemple (supposons que $R = 1 \text{ ohm}$)
 - 1A => W =>
 - 10A => W =>
 - 1mA => W =>
 - 1μA => W =>

La transmission Bilan sur le dB

- Puissances, gains (ratios) de puissance
 - $P_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10}(P)$
 - $G_{\text{dB}} = 10 \cdot \log_{10}(G)$
- Tension, courant, gains en tension ou en courant
 - $U_{\text{dB}} = 20 \cdot \log_{10}(U)$
 - $I_{\text{dB}} = 20 \cdot \log_{10}(I)$
 - $G_{\text{dB}} = 20 \cdot \log_{10}(G)$

La transmission Bilan sur le dB

- Si $G_{dB} > 1$
 - Augmentation de puissance (“gain” de puissance)
- Si $G_{dB} < 1$
 - Diminution de puissance (atténuation)
- Dans une chaîne
 - Les gains en termes réels se multiplient
 - Les gains en dB s'additionnent

La transmission Bilan sur le dB

- Puissances, gains (ratios) de puissance
 - $P_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(P)$
 - $G_{dB} = 10 \cdot \log_{10}(G)$
- Tension, courant, gains en tension ou en courant
 - $U_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(U)$
 - $I_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(I)$
 - $G_{dB} = 20 \cdot \log_{10}(G)$

La transmission Bilan sur le dB

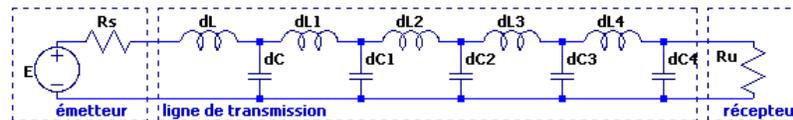
- Si $G_{dB} > 1$
 - Augmentation de puissance (“gain” de puissance)
- Si $G_{dB} < 1$
 - Diminution de puissance (atténuation)
- Dans une chaîne
 - Les gains en termes réels se multiplient
 - Les gains en dB s'additionnent

Layout by omgjee223, CC-BY

67

La transmission : problématique de filtrage

- 1 inductance = 1 fil (et réciproquement)
- 1 condensateur = 2 conducteurs isolés (et réciproquement)
- La ligne de transmission se modélise donc ainsi :



Layout by omgjee223, CC-BY

68

La transmission : problématique de filtrage

- Normalement, ne pose pas de problème de pertes ou de filtrage, car quelque soit la fréquence, l'énergie passe de cellules en cellules.
- Mais :
 - Il ne faudrait pas oublier la résistance du fil !



Layout by omgjee223, CC-BY

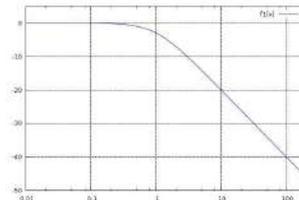
69

La transmission : problématique de filtrage

- dL n'intervient pas beaucoup dans le filtrage
- Par contre, dR et dC interviennent



- $F_c = dR1 \cdot dC1$
 - Filtre passe-bas 1er ordre
 - Ligne plus longue => plus de cellules et plus de résistance et plus de capa => plus d'atténuation des hautes fréquences

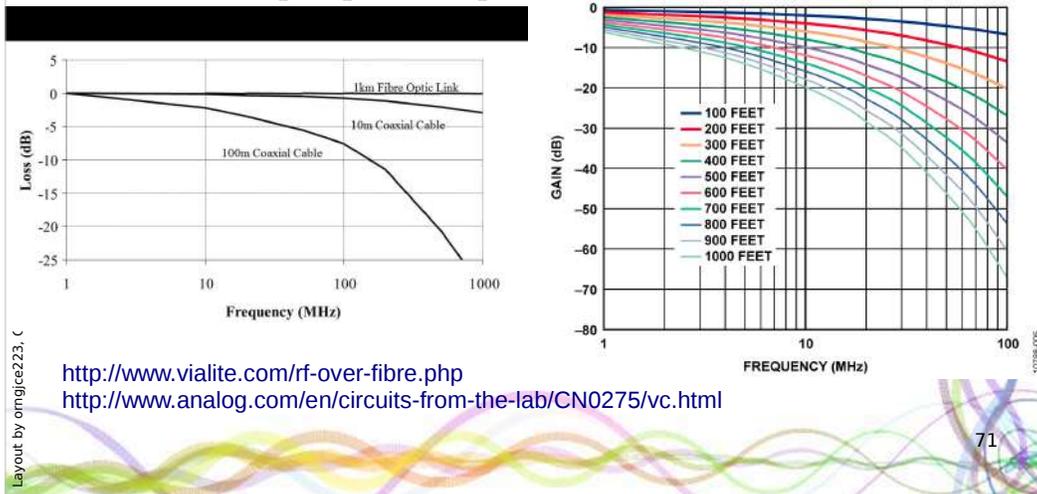


Layout by omgjee223, CC-BY

70

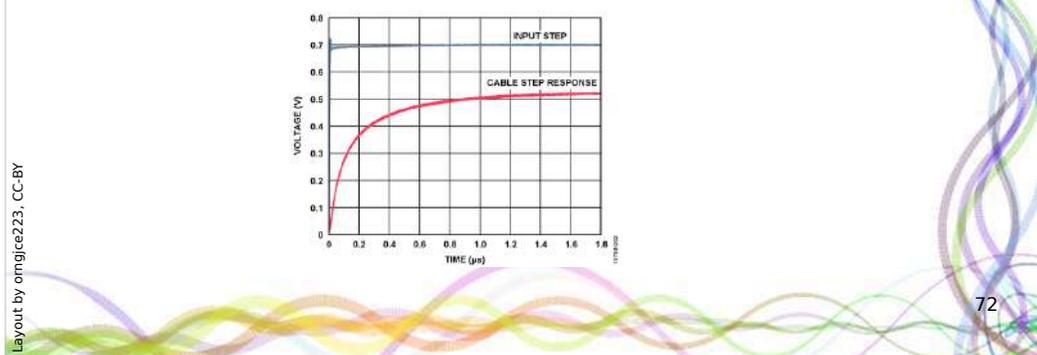
La transmission : problématique de filtrage

- Dans la réalité, d'autres facteurs interviennent
 - Bode un peu plus complexe



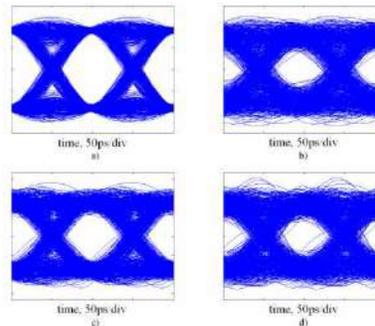
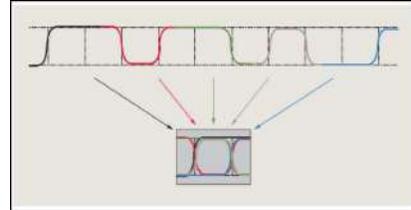
La transmission impact du filtrage de ligne

- Signaux rapides plus difficiles à transmettre :
 - Plus rapide = plus τ = plus
- Déformation des signaux
 - BF plus forte que HF



La transmission impact du filtrage de ligne

- Diagramme de l'oeil = indicateur de mesure de la qualité d'une ligne
- Filtrage passe-bas =>
 - Dégradation du diagramme de l'oeil
- Pour compenser ce filtrage passe-bas :
 - Equalisation
 - Câbles faibles pertes (faible R) => plus gros
 - Aller moins loin (répéteurs)



<http://www.ni.com/white-paper/14227/en>

Layout by omgjee223, CC-BY

73

L'amplification Introduction

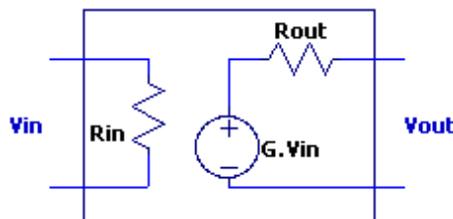
- But : augmenter la puissance (courant ou tension ou les deux) d'un signal
- Exemples :
 - Amplification forte puissance avant émission
 - Amplification faible puissance après réception
 - Isolation entrée -sortie
- Domaines d'application :
 - Audio
 - Radio
 - Câble de données
 - Capteurs
 - Actionneurs

Layout by omgjee223, CC-BY

74

L'amplification Ampli V-V

- Ampli à entrée en tension et sortie en tension
 - But : V_{out} proportionnel à V_{in}
 - R_{in} = résistance d'entrée
 - Générateur de Thévenin “commandé en tension”
 - G = Gain ()
 - R_{out} = résistance de sortie (ohm)

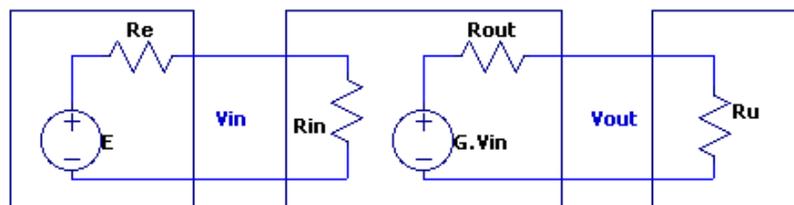


Layout by omgjee223, CC-BY

75

L'amplification L'ampli V-V idéal

- Environnement de l'ampli



- Caractéristiques d'un ampli tension-tension “idéal”
 - V_{in} ne dépend que de E
 - V_{in} ne dépend pas de R_e
 - V_{out} ne dépend pas de R_u

Layout by omgjee223, CC-BY

76

L'amplification L'ampli idéal : l'entrée

- En entrée : un pont diviseur
 - $V_{in} = E \cdot R_{in} / (R_{in} + R_e)$
 - $\Rightarrow V_{in}$ dépend de R_e !!!
 - Sauf si $R_{in} =$
- Donc : un ampli idéal a un $R_{in} =$ Ainsi :
 - $I_{in} =$
 - $P_{in} =$
 - Consomme peu

Layout by omgjee223, CC-BY

77

L'amplification L'ampli idéal : la sortie

- En sortie : un pont diviseur
 - $V_{out} = G \cdot V_{in} \cdot R_u / (R_u + R_{out})$
 - $\Rightarrow V_{out}$ dépend de R_u !!!
 - Sauf si $R_{out} =$
- Donc : un ampli idéal a un $R_{out} =$ Ainsi :
 - La puissance "perdue" sur R_{out} est égale à
 - $P_{R_{out}} =$

Layout by omgjee223, CC-BY

78

L'amplification bruit, distorsions

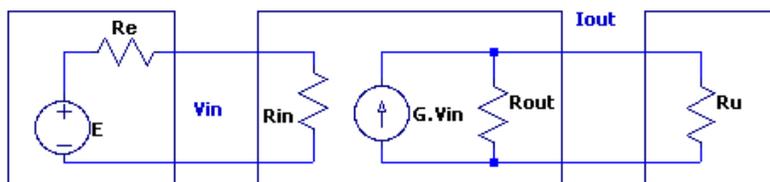
- Ampli parfait : $V_{out} = G \cdot V_{in}$
- Mais en réalité...
 - Problématiques de filtrage (bande passante non plate)
 - Certaines fréquences trop amplifiées, d'autres pas assez
 - Se voit sur le
 - Problématiques de linéarité (distorsion)
 - Signaux faibles bien amplifiés, mais signaux forts pas assez amplifiés
 - Saturation au-delà d'un certain niveau
 - Ajout de bruit
 - Fréquences parasites ajoutées
 - Bruit blanc ajouté

Layout by omgjee223, CC-BY

79

L'amplification Ampli V-I

- Ampli à entrée en tension et sortie en courant
 - But : I_{out} proportionnel à V_{in}
 - R_{in} = résistance d'entrée
 - Générateur de Norton "commandé en tension"
 - G = Transconductance (= = mho = Siemens (S))
 - R_{out} = résistance de sortie

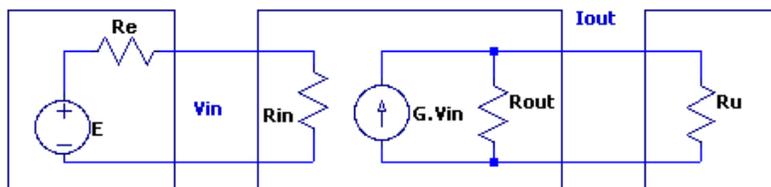


Layout by omgjee223, CC-BY

80

L'amplification Ampli V-I idéal

- Caractéristiques d'un ampli tension-courant "idéal"
 - V_{in} ne dépend que de E
 - $\Rightarrow R_{in} =$
 - I_{out} ne dépend pas de R_u
 - $\Rightarrow R_{out} =$



Layout by omgjee223, CC-BY

81

L'amplification Technologie

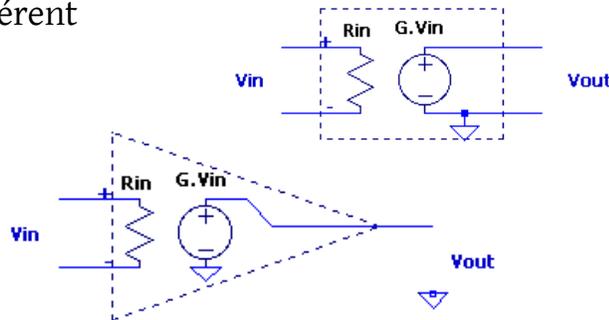
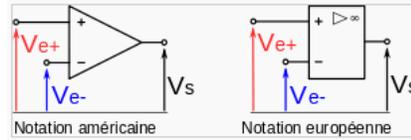
- Deux technologies principales :
 - Amplification à gain faible
 - Souvent à base d'ampli V-I (transistor) suivi d'une R
 - $V_{in} \rightarrow$ courant $I_n \rightarrow$ tension $I_n \cdot R$
 - Monte haut en fréquence
 - Parfois : problèmes de linéarité ou de précision du gain
 - Ampli à gain très fort, contre-réactionné
 - Le gain fort, idéalement infini (AOP) est contrôlé pour le ramener à une valeur choisie
 - Souvent précis
 - Difficile de monter en fréquence, problèmes d'oscillations

Layout by omgjee223, CC-BY

82

L'amplification L'AOP

- Ampli V-V
 - Rin = infini
 - G = infini
 - Rs indifférent



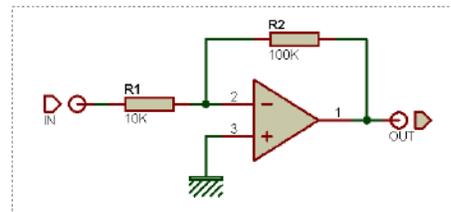
Layout by omgjee223, CC-BY

83

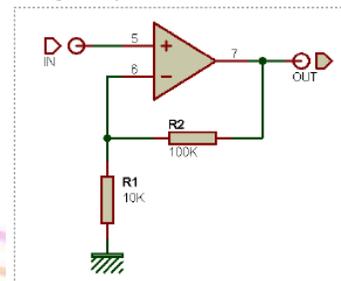
L'amplification Les montages AOP

- Ampli inverseur
 - $V_{out} = V_{in} \cdot R_2 / R_1$
- Ampli non-inverseur
 - $V_{out} = V_{in} \cdot (R_2 + R_1) / R_1$

Montage en amplificateur inverseur :



Montage en amplificateur non-inverseur :



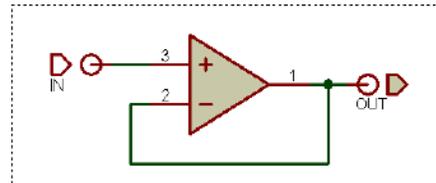
Montage en ampli

Layout by omgjee223, CC-BY

L'amplification Les montages AOP

- Suiveur
 - $V_{out} = V_{in}$
- Sommateur
 - $V_{out} = V_a + V_b + \dots$
- Différentiateur
 - $V_{out} = V_a - V_b$
- Convertisseur tension-courant
 - $I_{out} = G \cdot V_{in}$
- Convertisseur courant-tension
 - $V_{out} = G \cdot I_{in}$

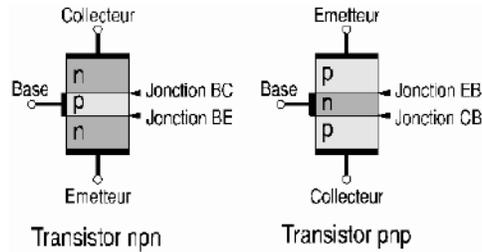
Montage en suiveur de tension :



L'amplification Les montages AOP

- Résistance négative
- Simulateur d'inductance forte valeur
- Comparateur (éventuellement avec hystérésis)
- Redresseur diode sans seuil
- Ampli logarithmique / ampli exponentiel
- Oscillateur
- ...
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Montages_de_base_de_l%27amplificateur_op%C3%A9rationnel

L'amplification Le transistor bipolaire



Layout by omgjee223, CC-BY

L'amplification Le transistor NPN

- Schéma équivalent :



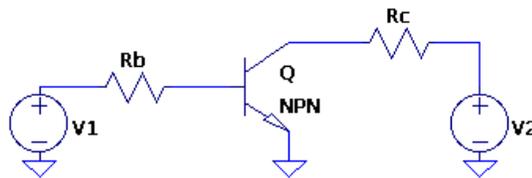
- Loi des noeuds :

- $I_e = I_b + I_c$

Layout by omgjee223, CC-BY

L'amplification Le régime linéaire du NPN

- Fonctionnement en “régime linéaire” :
 - $I_c = \beta \cdot I_b$
 - $V_{be} \approx 0.6V$
- Conditions du régime linéaire :
 - $I_b > 0$
 - $V_{ce} > 0$
- Ampli I-I



Layout by omgjee223, CC-BY

89

L'amplification Le régime saturé du NPN

- Si V_{ce} n'est plus suffisamment fort pour permettre à I_c de passer suffisamment fort => régime saturé
 - $I_c < \beta \cdot I_b$
 - V_{ce} tend vers 0 (V_{ce} tends vers $V_{ce_sat} \approx 0.3V$)
- Régime imposé par le circuit connecté sur C (sortie)
- Utilisé pour amplifier des signaux logiques

Layout by omgjee223, CC-BY

90

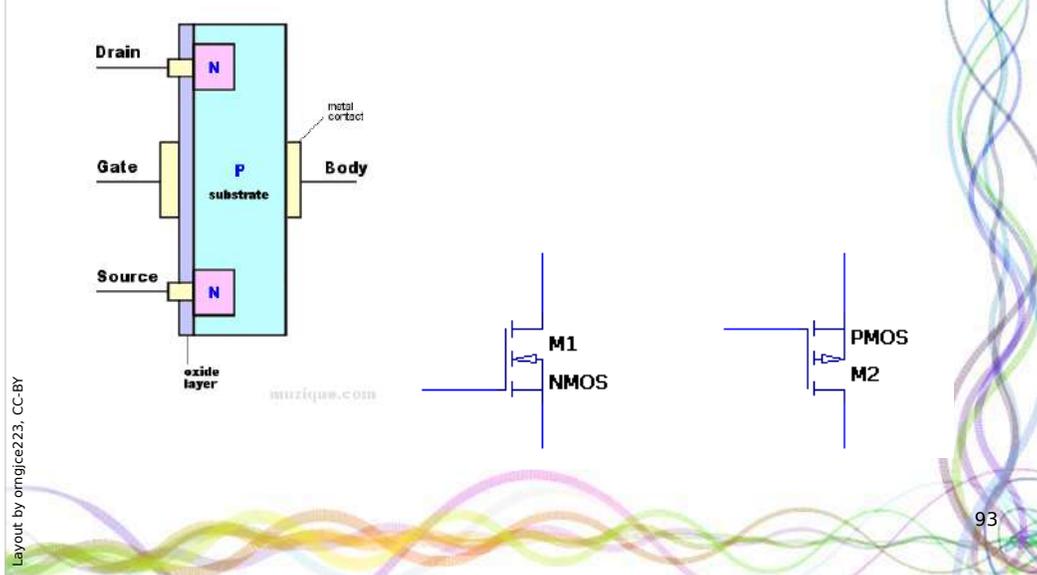
L'amplification Le régime bloqué du NPN

- Si V_{be} n'est pas suffisamment fort pour permettre à I_b de passer ($V_{be} < 0V$ ou $< 0.6V$) => régime bloqué
 - $I_b = 0$
 - $I_c = \beta \cdot I_b = 0$
 - $V_{ce} =$
- Régime imposé par le circuit connecté en B (entrée)

L'amplification Les applications des bipolaires

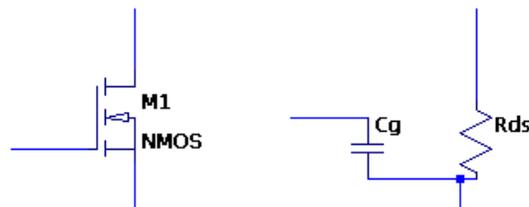
- Avantages :
 - Bonne linéarité
 - Faible bruit
- Inconvénients :
 - Consommation de courant
 - $V_{ce_sat} \neq 0 \Rightarrow V_{ce} \cdot I \Rightarrow$ chauffe
- Applications :
 - HF
 - Audio
 - Haute tension

L'amplification Le transistor MOSFET



L'amplification Le transistor MOSFET canal N

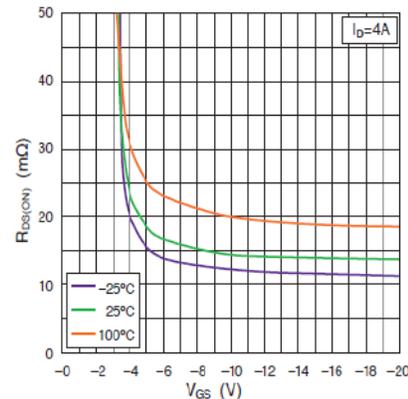
- Schéma équivalent :



- Cg très petite (quelques pF à quelques nF)
 - Pas de courant DC dans la gate
 - Peu de courant AC dans la gate

L'amplification Le Rds du MOSFET

- Rds varie en fonction de Vgs
- $V_{gs} < V_{gsth} / 2$
 - Rds très grand
 - 1k à 10Meg
- $V_{gs} > 2.V_{gsth}$
 - Rds très petit
 - $\sim R_{dson}$
- Entre les deux
 - Zone de transition

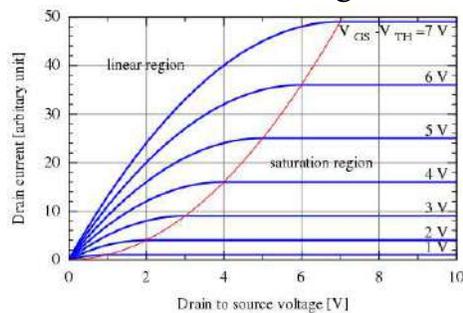


Layout by omgjee223, CC-BY

95

L'amplification La saturation du MOSFET

- Si trop de courant passe dans le MOSFET
 - la résistance Rds ne se comporte plus comme une résistance ($I_{ds} = V_{ds} / R_{ds}$)
 - I est plafonné, même si Vds augmente



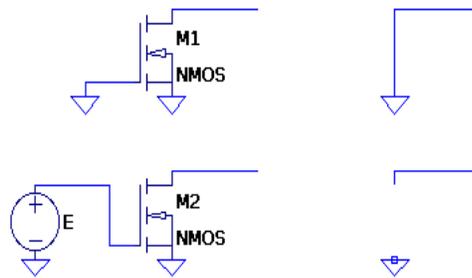
Layout by omgjee223, CC-BY

96

L'amplification

Le MOSFET comme interrupteur

- Si $V_{gs} > 2 V_{gsth}$
(exemple : $V_{gs} = 5V$)
 - R_{ds} "nul" => le courant passe
 - Transistor "passant"
- Si $V_{gs} < V_{gsth} / 2$
(exemple : $V_{gs} = 0$)
 - R_{ds} "infini" => le courant ne passe pas
 - Transistor bloqué



Layout by omgjee223, CC-BY

97

L'amplification

Les applications des MOSFET

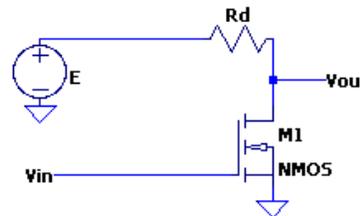
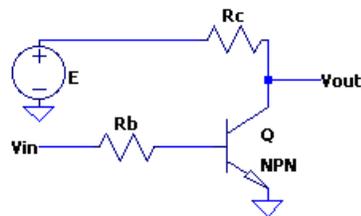
- Avantages :
 - $R_{ds(on)}$ peut être très faible, pas de $V_{ce(sat)}$
 - Chauffe moins
- Inconvénients :
 - Capa de gate problématique en HF
 - Limités en tension
- Applications :
 - Basse tension, forts courants, électronique de puissance
 - Découpage
 - Circuits numériques

Layout by omgjee223, CC-BY

98

L'amplification Montage E (ou S) commun

- Emetteur commun
- Source commune
- Collecteur ouvert
- Drain ouvert



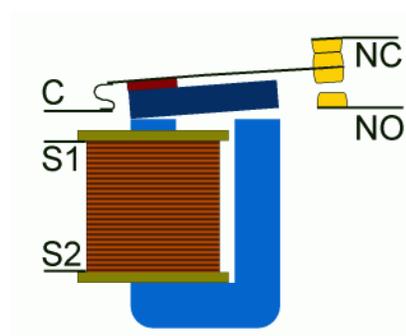
- Tirage masse : transistor
- Tirage à +E : résistance
- Problème de puissance max délivrable

Layout by omgice223, CC-BY

99

L'amplification Technologie du relais

- 1 électroaimant
 - Bobine sur fer doux
- Un interrupteur
 - C =
 - NO =
 - NC =
- Si courant dans la bobine => le relais commute

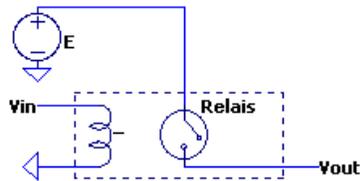


Layout by omgice223, CC-BY

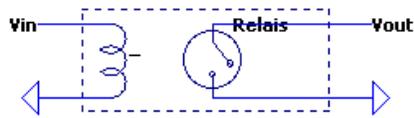
100

L'amplification à relais

- Relais au +



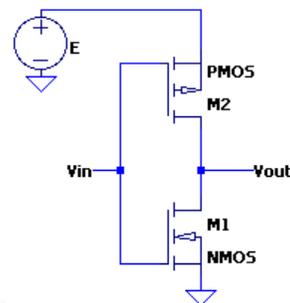
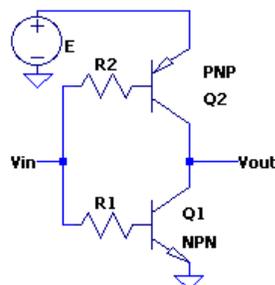
- Relais au -



- Ne peut délivrer de la puissance que au + ou que au -, selon le montage choisi

L'amplification Pont de transistors

- Le pont de transistors (push-pull)
 - Montage symétrique
 - Permet de délivrer autant de puissance au + qu'au -



L'amplification

Le pont de transistors

- Attention : les deux transistors ne doivent pas conduire en même temps !
- Applications :
 - Electronique de puissance
 - Electronique numérique
- Système plus efficace électriquement, meilleur rendement

du Système à la Fonction (suite)

Cours de transmission de l'information
et d'électronique générale

EFREI – L1 – Février 2013

Pierre Prot – prot@efrei.fr –  **REFLEX**
Custom Embedded Systems

Plan de cours

- Introduction
 - Objectifs de ce cours
 - Introduction à la transmission d'information
 - Rappels de base en électronique
- Cours
 - La transmission électrique
 - La fonction amplification
 - La fonction filtrage
 - Applications

Le filtrage

Pulsation, fréquence

- Fréquence : f , en nombre de périodes par secondes
 - Unité SI : ou
 - 5 fois par secondes =
 - 6 fois par minutes =
- Pulsation : ω , en nombre de radian par secondes
 - Unité SI :
 - On définit 1 période = 1 tour de cercle = $2.\pi$ radians
 - 5 fois par secondes =
 - 6 fois par minutes =
 - Ainsi : $\omega =$, ou bien $f =$

Le filtrage

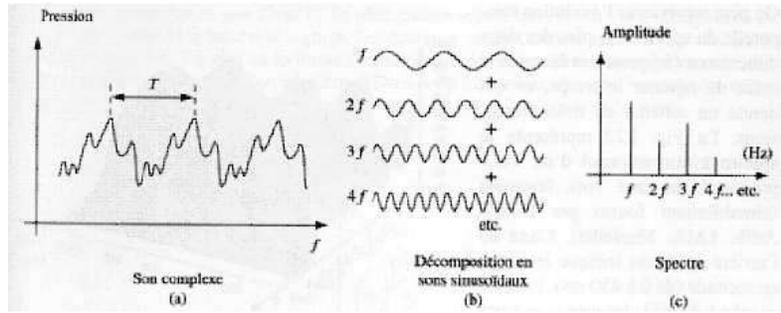
Introduction au spectre

- Th de Fourier : tout signal périodique peut être décomposé en une somme de sinusoïdes de fréquences (f) et d'amplitudes (A) déterminées
- Inversement : une somme de sinusoïdes de fréquences et d'amplitudes différentes donne un signal périodique
- L'ensemble des couples (f, A) qui composent un signal = le spectre

Le filtrage

Le spectre d'un signal

- Signal complexe, décomposition en sinusoïdes, spectre



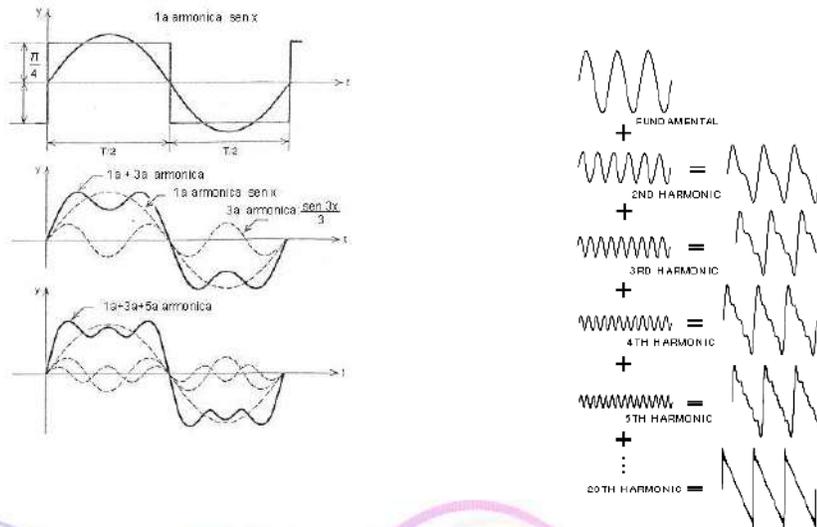
<http://tehuilami.free.fr/tpe.htm>

Layout by omgjee223, CC-BY

5

Le filtrage

Le spectre d'un signal



Layout by omgjee223, CC-BY

6

Le filtrage

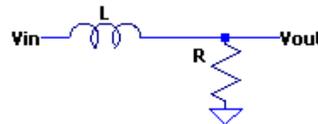
Introduction

- Filtre = quadripôle
 - Une entrée sur 2 pôles
 - Une sortie sur 2 pôles
 - Un facteur de transfert (gain) en U, ou en I, ou en P
- But du filtrage : avoir un gain différent en fonction de la fréquence du signal
 - Gain : $G(f)$
 - Exemple :
 - $V_{out} = G_v(f) \cdot V_{in}$
 - $P_{out} = G_p(f) \cdot P_{in}$

Le filtrage

Caractérisation d'un filtre

- Fonction de transfert :
 - $H(j\omega) = V_{out} / V_{in}$
 - Variable de Laplace : $p = j\omega$
 - Calcul de V_{out}/V_{in} en considérant les impédances complexes
 - Condensateur : $Z_c = 1 / jC\omega$
 - Inductance : $Z_l = jL\omega$
 - Résistance $Z_r = R$



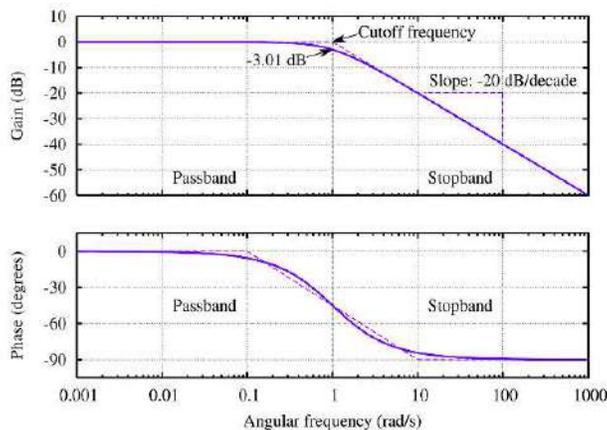
Le filtrage

Caractérisation d'un filtre

- Diagramme de Bode :
 - Diagramme d'amplitude
 - Abcisses : ω ou f (axe)
 - Ordonnées : $|H(j\omega)|$ en dB (axe)
 - Diagramme de phase
 - Abcisses : ω ou f (axe)
 - Ordonnées : $\text{Arg}(H(j\omega))$ (axe)

Le filtrage

Diagramme de Bode



Le filtrage

Autres caractéristiques

- Bande passante
 - Bande de fréquence que le filtre laisse passer
- Bande coupée
 - Bande de fréquence que le filtre atténue
- Fréquence de coupure
 - Cassure dans le diagramme de Bode
- Pente de coupure
 - Pente d'un segment du diagramme de Bode
 - 20dB / décade = 'pente 1'
- Type de filtre
 - Passe-bas, passe-haut
 - Passe-bande, coupe-bande

Le filtrage

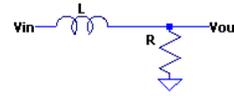
Applications mathématiques

- En temporel, en régime AC :
 - $V_{out}(\omega) = H(j\omega) \cdot V_{in}(\omega)$
- En spectral :
 - $S_{vout} = \text{Bode}(H(j\omega)) \cdot S_{vin}$

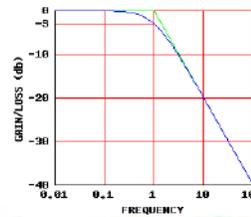
Le filtrage

Exemple d'un filtre passe-bas LC

- $H(j\omega) = V_{out}/V_{in}$
- =
- Quand $\omega \rightarrow 0$
 - $|H(j\omega)| \rightarrow$
- Quand $\omega \rightarrow \text{infini}$
 - $|H(j\omega)| \sim$
- Quand $\omega = R/L$
 - $|H(j\omega)| =$

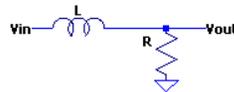
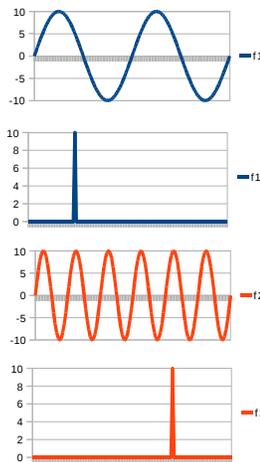


$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{L}{R}\omega}$$

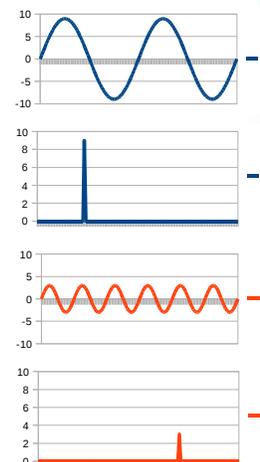
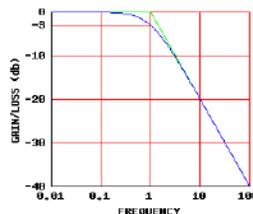


Le filtrage

Exemple d'un passe-bas

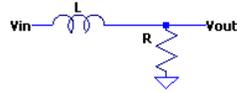


$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\frac{L}{R}\omega}$$

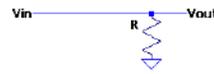


Le filtrage

Raisonnements empiriques

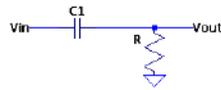


- $Z_L = j.L.\omega$
 - Quand $\omega \rightarrow 0$
 - $Z_L \rightarrow$
 - $V_{out} =$
 - Quand $\omega \rightarrow \text{infini}$
 - $Z_L \rightarrow$
 - $V_{out} =$
- C'est un filtre passe-



Le filtrage

Raisonnements empiriques

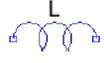


- $Z_C = 1/j.C.\omega$
 - Quand $\omega \rightarrow 0$
 - $Z_C \rightarrow$
 - $V_{out} =$
 - Quand $\omega \rightarrow \text{infini}$
 - $Z_C \rightarrow$
 - $V_{out} =$
- C'est un filtre



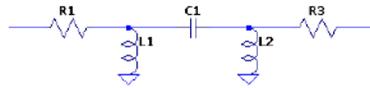
Le filtrage

Modèles BF-HF

Compo:			
Z			
BF $\omega \rightarrow 0$			
HF $\omega \rightarrow \text{infini}$			

Le filtrage

Modélisation BF-HF



BF

HF

$V_{out} =$

$V_{out} =$

Le filtrage

Rappels mathématiques

- $H(j\omega) = V_{out} / V_{in}$
 - Donc $|H(j\omega)|_{dB} = \log_{10}(|H(j\omega)|)$
- $(X * Y * \dots * Z)_{dB} =$
 $=$
 $= X_{dB} + Y_{dB} + \dots + Z_{dB}$
- $(1/X)_{dB} =$
 $= -X_{dB}$
- 1 décade = multiplication par 10
 - Pour une tension : + 1 décade = + dB
 - Pour une puissance : + 1 décade = + dB

Le filtrage

Méthode du diagramme de Bode

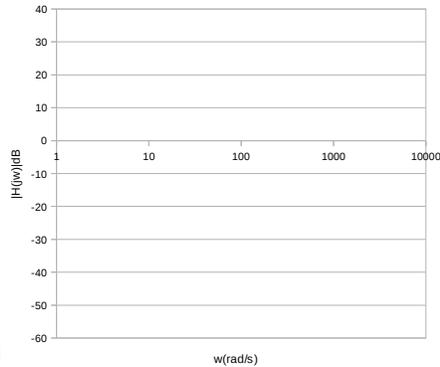
- Calculer $H(j\omega) = V_{out}/V_{in}$
- Décomposer en produit de fonction de bases
 - $H(j\omega) = H_1(j\omega) * H_2(j\omega) * \dots * H_n(j\omega)$
- Tracer les diagrammes de Bode des fonctions H_1, H_2, \dots, H_n
 - $|H_1(j\omega)|_{dB} \rightarrow B_1, |H_2(j\omega)|_{dB} \rightarrow B_2, \dots, |H_n(j\omega)|_{dB} \rightarrow B_n$
- Additionner les diagrammes asymptotiques de Bode
 - $|H(j\omega)|_{dB} = |H_1(j\omega)|_{dB} + |H_2(j\omega)|_{dB} + \dots + |H_3(j\omega)|_{dB}$
 - Donc : $B = B_1 + B_2 + \dots + B_n$
 - Dessiner B, diagramme asymptotique de Bode de $H(j\omega)$
- Dessiner le diagramme réel de Bode
 - -3dB aux fréquences de coupure

Le filtrage

Diagrammes de Bode simples

- $\omega = \omega_0$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$
- $\omega^* = 10$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$
- $\omega / = 10$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$

$$H(j\omega) = j \frac{\omega}{\omega_0}$$

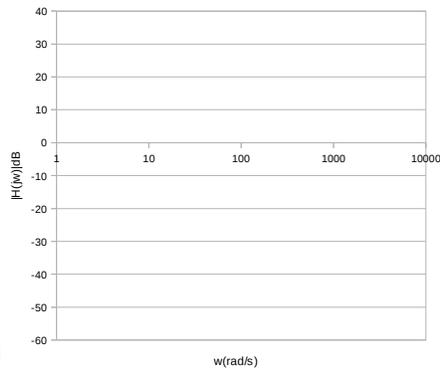


Le filtrage

Diagrammes de Bode simples

- $\omega = \omega_0$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$
- $\omega^* = 10$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$
- $\omega / = 10$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$

$$H(j\omega) = \frac{1}{j \frac{\omega}{\omega_0}}$$

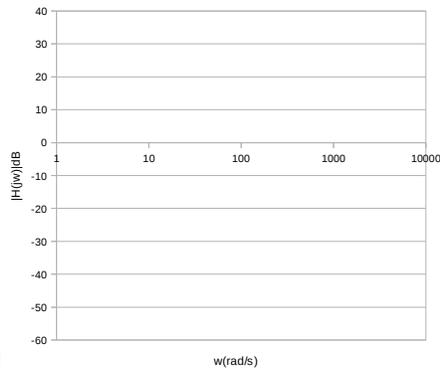


Le filtrage

Diagrammes de Bode simples

- $\omega = \omega_0$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$
- $\omega \ll \omega_0$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$
- $\omega \gg \omega_0, \omega^* = 10$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$

$$H(j\omega) = 1 + j \frac{\omega}{\omega_0}$$

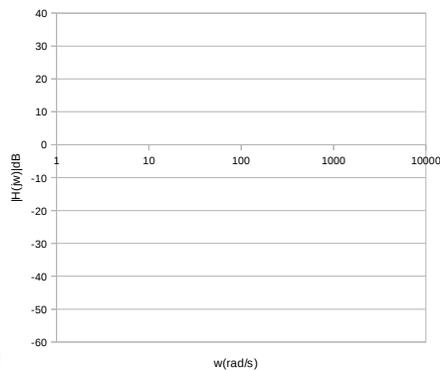


Le filtrage

Diagrammes de Bode simples

- $\omega = \omega_0$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$
- $\omega \ll \omega_0$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$
- $\omega \gg \omega_0, \omega^* = 10$
 - $|H(j\omega)|$
 - $|H(j\omega)|_{dB}$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_0}}$$



Le filtrage

Méthode d'analyse : récapitulatif

- Analyse HF / BF
 - Remplacement des composants par leurs modèles BF, puis HF
 - => permet de connaître globalement le type de filtre

- Tracé du diagramme de Bode
 - $H(j\omega) = V_{out} / V_{in}$
 - $Z_c = 1/jC\omega$; $Z_l = jL\omega$
 - Tracé de Bode de la fonction de transfert
 - => permet de connaître précisément le comportement du filtre

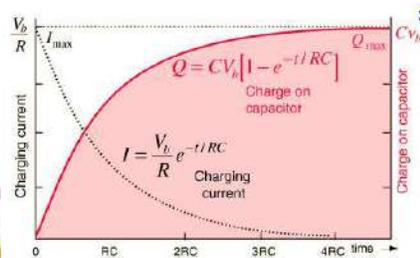
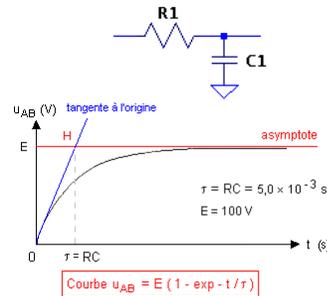
Layout by omgjee223, CC-BY

25

Le filtrage

Réponse impulsionnelle

- $V_c =$
- À $T=0$
 - $V_c =$
 - $I =$
 - $dV_c/dT =$
- Ensuite
 - V_c
 - I
 - dV_c/dT



Layout by omgjee223, CC-BY

26

Le filtrage

Réponse impulsionnelle

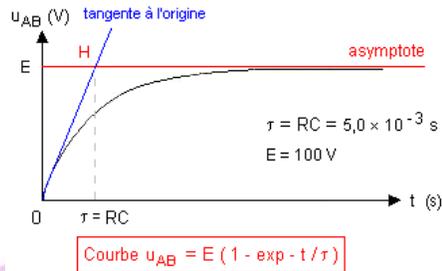
- Equation différentielle à résoudre

- $dV_C/dT = I_C / C = (E - V_C) / (R.C)$

- Solution :

- $V_C(t) = E \cdot (1 - e^{-t/\tau})$

- $\tau = RC$

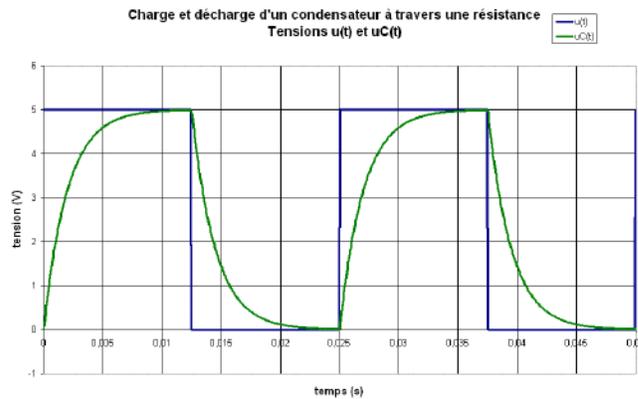


27

Le filtrage

Réponse impulsionnelle

- Réponse du RC à un signal carré : effet passe-bas



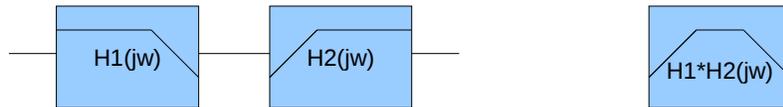
28

Le filtrage

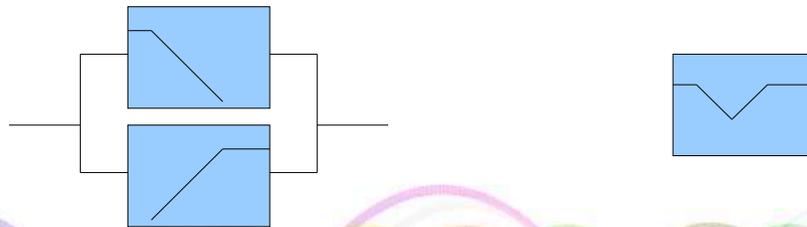
Les filtres complexes

- Couplage passe-haut + passe-bas

- Passe-bande



- Coupe-bande



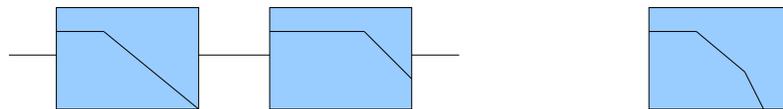
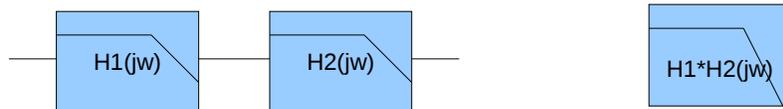
Layout by omgicee223, CC-BY

Le filtrage

Les filtres complexes

- Mise en série de deux filtres identiques

- Pente plus raides



Layout by omgicee223, CC-BY

Le filtrage

Utilité des filtres complexes

- Passe-bande /coupe-bande
 - Audio (égaliseur)
 - Radio (sélection d'un signal dans une bande)
- Filtre à pente plus raides
 - Pente 1 = 20dB/décade
 - Pente 2 = 40dB/décade
 - ...
 - But : couper plus efficacement au-delà de la fréquence de coupure
 - Audio, échantillonnage, déparasitage, etc...

Le filtrage

Ordre d'un filtre

- 1 élément filtrant
 - Ordre 1
 - Pente 1
- 2 éléments filtrants =
 - Ordre 2
 - 1 pente 2 ou 2 pentes 1
- ...
- N éléments filtrants
 - Ordre N
 - 1 pente N ou ... ou N pentes 1

Le filtrage

Les réponses des filtres complexes

- Plusieurs types de réponses standardisées
 - Pour chaque topologie : des avantages et des inconvénients
 - Choix en fonction de l'application
 - Théorie mathématique “costaude”
 - Implémentation et calcul à l'aide de logiciels calculateurs (“Elsie”, ou logiciels de fondeurs : LTC, TI, Analog, Microchip, etc...)
- L'analyse qualitative HF/BF marche très bien

Le filtrage

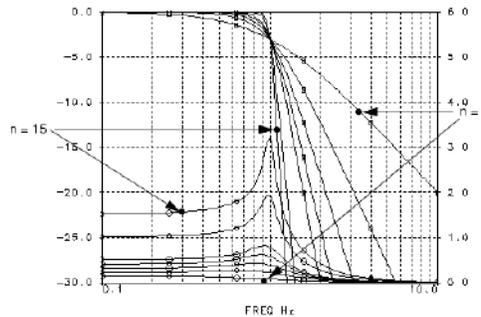
Les réponses des filtres complexes

- Critères
 - Planéité de la bande passante (pass-band flatness)
 - Bande coupée sans remontées (no stop-band ripple)
 - Coupure franche et rapide au coin (sharp corner)
 - Planéité du délai de groupe (group delay flatness / linear phase)
 - Déphasage(ω) = délai(ω)
 - Si le délai varie en fonction de la fréquence → distorsion

Le filtrage

La réponse Butterworth

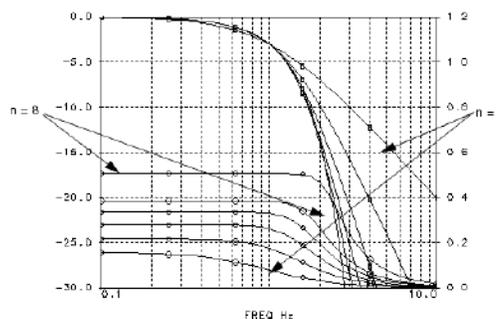
- Le plus commun
 - Bande passante la plus plate
 - Coupure franche
 - Délai raisonnable
- Applications
 - Asservissement
 - Usage général



Le filtrage

La réponse Bessel

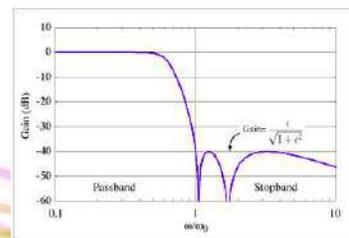
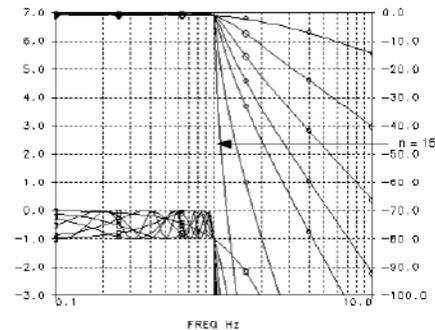
- Pour l'audio
 - Bande passante très atténuée vers le haut
 - Coupure arrondie
 - Délai de groupe excellent (Linear Phase Response)
- Application
 - Audio
 - Vidéo



Le filtrage

La réponse Chebyshev type 2

- Spécifique
 - Bande passante
 - Plate en amplitude
 - Oscillante en phase
 - Coupure très sèche
 - Remontées dans la bande coupée
 - Délai de groupe mauvais
- Application
 - Analyse fréquentielle
 - Applications spécifiques



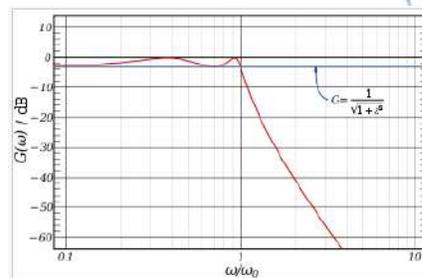
37

Layout by omgjee223, CC-BY

Le filtrage

La réponse Chebyshev type 1

- Spécifique
 - Bande passante
 - Oscillante en amplitude
 - Coupure très sèche
 - Pas de remontées dans la bande coupée
 - Délai de groupe mauvais
- Application
 - Analyse fréquentielle
 - Applications spécifiques

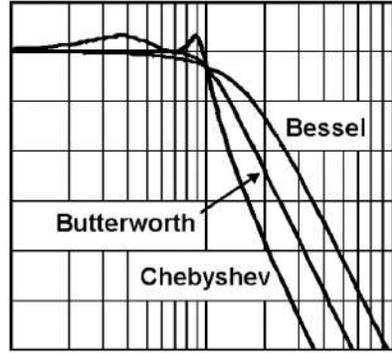
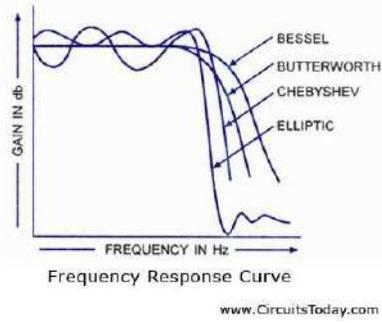


38

Layout by omgjee223, CC-BY

Le filtrage

Les réponses complexes



Layout by omgjee223, CC-BY

39

Les réponses complexes

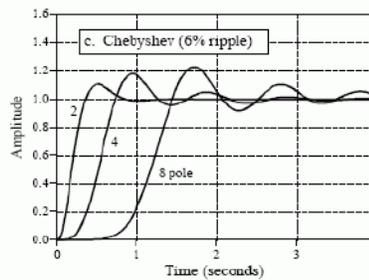
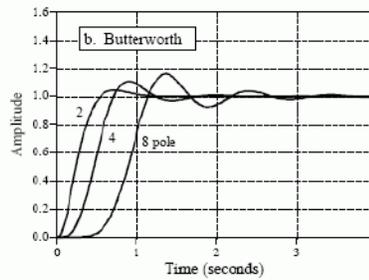
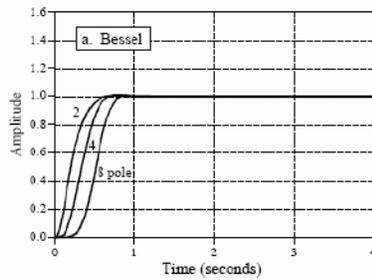


FIGURE 3-13
Step response of the three filters. The times shown on the horizontal axis correspond to a one hertz cutoff frequency. The Bessel is the optimum filter when overshoot and ringing must be minimized.

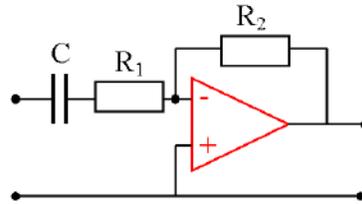
Layout by omgjee223, CC-BY

40

Le filtrage

Les filtres actifs

- Principe : un AOP, des éléments filtrants autour
- Analyse
 - Calculatoire
 - Modèles HF/BF



Le filtrage

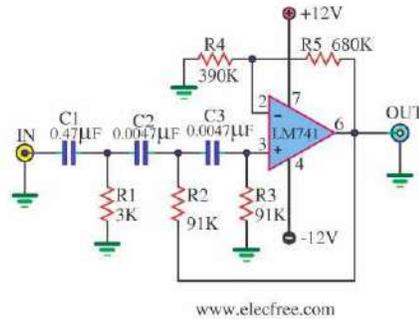
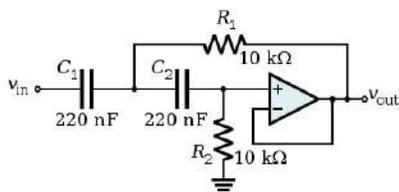
Les filtres actifs

- Avantages :
 - Permet d'amplifier tout en filtrant
 - Rin possiblement très élevé
 - Rout possiblement très faible
 - Caractéristiques indépendantes de la charge
- Limites = celles de l'AOP
 - Rapidité
 - Distorsion
 - Prix

Le filtrage

Les filtres actifs

- Topologies parfois difficiles à analyser
 - Sallen-Key
 - Cauer
 - Mixte...



Layout by omgjee223, CC-BY

43

Liens

- <http://www.docstoc.com/docs/35999425/How-NOT-to-Design-Active-Filters>
- http://www.analog.com/en/content/filter_wizard/fca.html
- <http://tonnesoftware.com/elsie.html>
- <http://www.calculatoredge.com/electronics/ch%20pi%20low%20pass.htm>
- Google://filterlab
- Google:// filterCAD

Layout by omgjee223, CC-BY

44

Applications

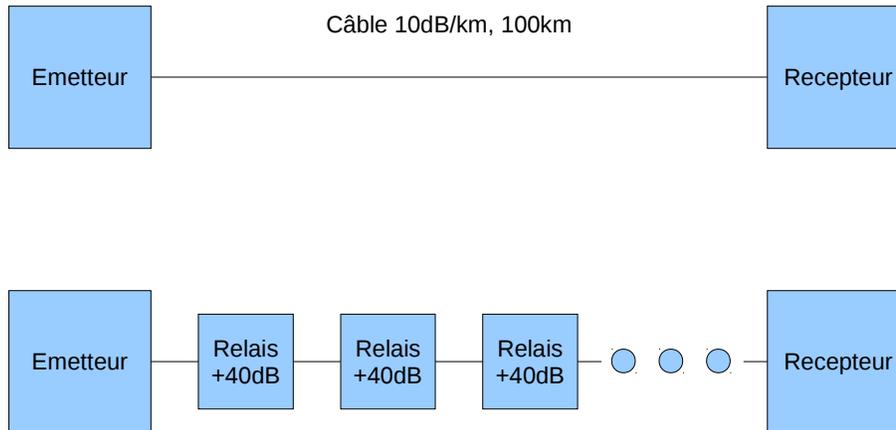
- Techniques
 - Le relais de transmission
 - L'égalisation de ligne
 - L'égalisation audio
 - Le gain variable
 - Le filtrage de bruit hors bande
- Solutions technologiques de communication
 - Le télégraphe
 - Le téléphone analogique, les réseaux de téléphonie
 - Le fax
 - L'ADSL

Applications

Le relais de transmission

- Objectif :
 - Compenser les pertes des lignes de transmission
 - Insertion d'amplificateurs sur la ligne
- Problématiques :
 - Calculer le gain et le nombre de relais pour compenser les pertes dues à la longueur de ligne
- Solutions :
 - Calculer les pertes de la ligne par unité de longueur (par exemple : en dB/km)
 - Calculer les pertes de la ligne sur toute sa longueur
 - Disposer plusieurs amplis dont le gain total est au moins équivalent aux pertes totales

Applications relais de transmission (amplification)



Layout by omgjee223, CC-BY

47

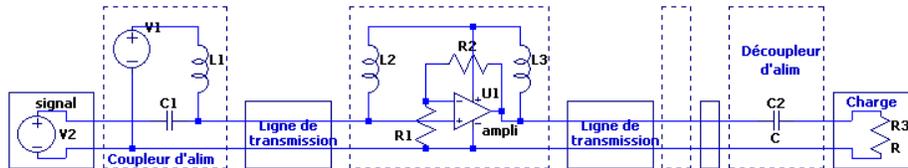
Applications relais de transmission (alimentation)

- Problématiques : le relais (ampli) doit être alimenté
 - Une alim (secteur, panneaux solaires, batterie, ...) par relais = cher
- Solutions :
 - Faire circuler l'alimentation et le signal sur la ligne
 - L'alim = DC seulement
 - Le signal = AC seulement
 - Utilisation de condensateurs et inductances pour séparer les chemins de l'alim et du signal

Layout by omgjee223, CC-BY

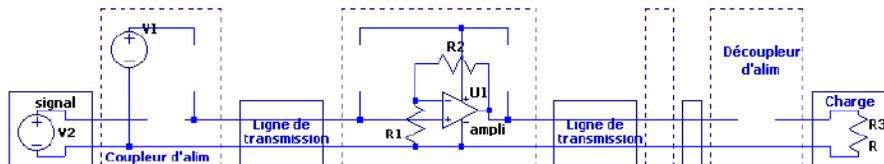
48

Applications relais de transmission (alimentation)

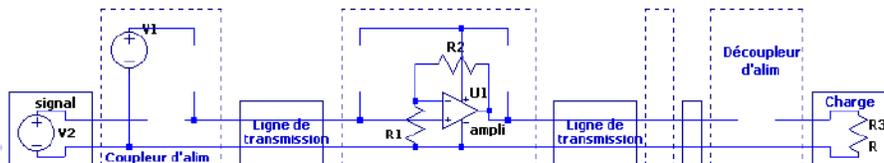


Applications relais de transmission (alimentation)

- Modèle BF (pour l'alim)



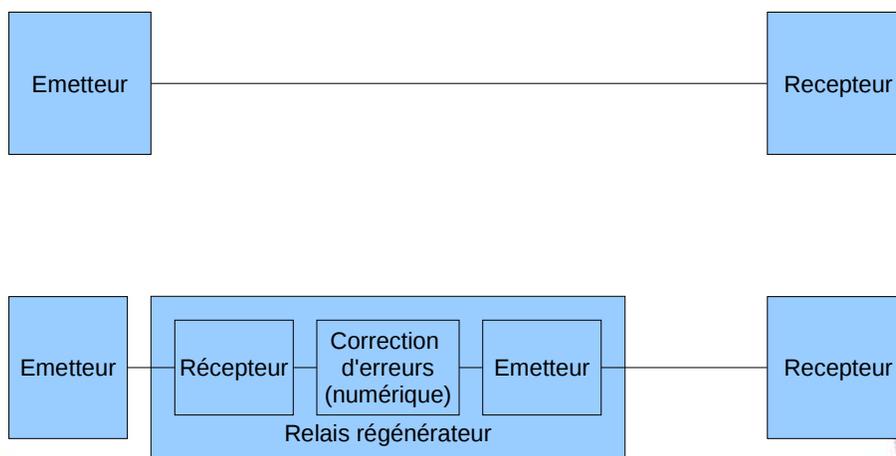
- Modèle HF (pour le signal)



Applications relais de transmission (régénération)

- Problématiques : à force d'amplifications et d'atténuations, le signal se dégrade
 - Dégradation du SNR
 - Distorsions dues
 - aux non-linéarités des amplis
 - à la bande passante des amplis, de la ligne
 - aux parasites ajoutées par les amplis
- Solutions (valable pour le numérique)
 - Retransformer en numérique
 - Vérifier que le signal numérique est valide
 - Le retransmettre
- Plus cher, mais plus fiable
- Moins de relais par unité de longueur

Applications relais de transmission (régénération)



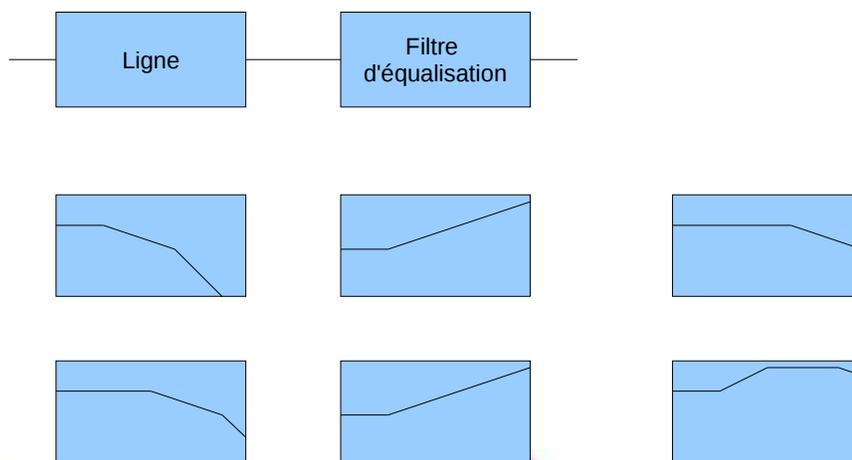
Applications

L'équalisation de ligne

- Objectif :
 - Compenser l'effet de filtrage passe-bas d'une ligne
- Problématique :
 - La compensation doit être adaptée aux “imperfections” de la ligne, pour ne pas rajouter de déformations additionnelles
- Solution :
 - Diagramme de Bode de la ligne, puis calcul du filtre correcteur
 - Filtre auto-adaptatif (complicé, mais des solutions clés en mains existent)

Applications

L'équalisation de ligne



Applications L'équalisation audio

- Objectif :

- Compenser les déformations dues à la bande passante non plate des différents éléments d'une chaîne audio

- Problématique :

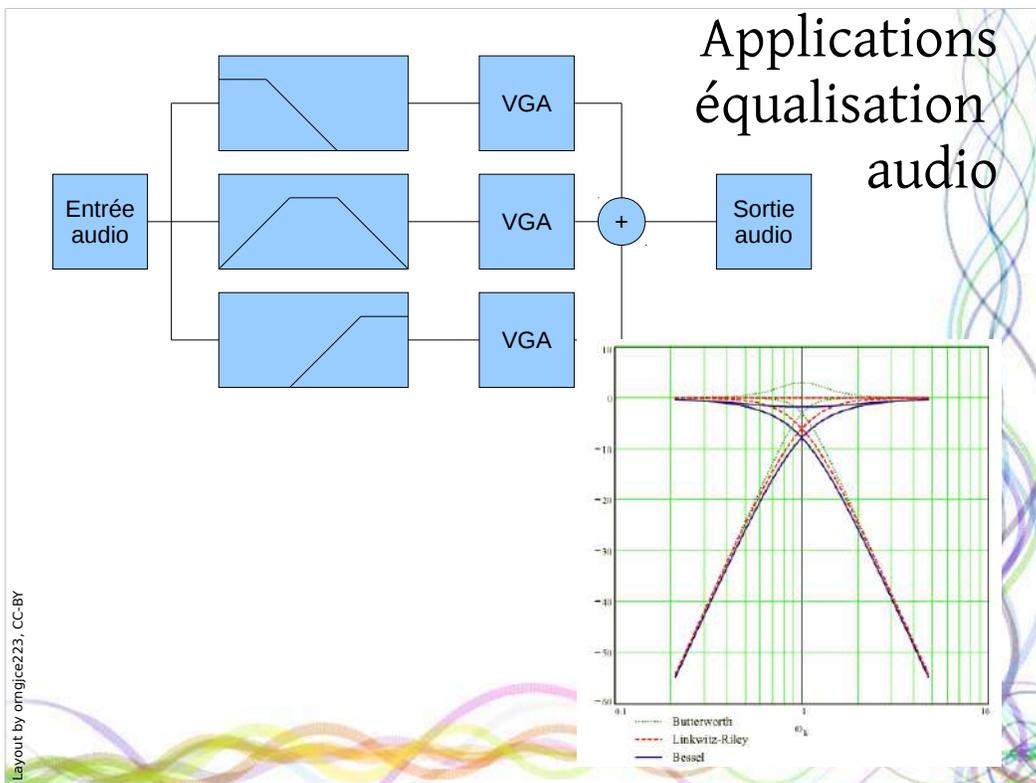
- Le son doit “plaire à l'auditeur”

- Solution :

- Réglage manuel du volume des graves/medium/aigus

Layout by omgjee223, CC-BY

55



Applications

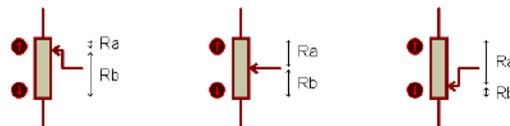
Le gain variable

- Objectif :
 - Construire un amplificateur dont le gain peut être modifié électriquement
- Problématique :
 - La multiplication de deux tension = difficile
- Solution :
 - Potentiomètre
 - Potentiomètre numérique
 - Résistance variable à l'aide d'un MOSFET

Applications

Le gain variable

- Barreau résistif
 - Curseur
 - R_a
 - R_b
 - $R_a + R_b = R_{tot}$

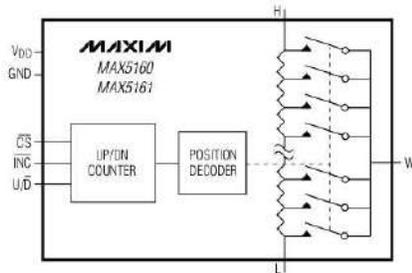


- Pont diviseur
 - $V_{ca} =$

Applications

Le gain variable

- Potentiomètre numérique
 - Pont diviseur de tension avec 2^n résistances
 - Sélection d'un noeud par interrupteur commandé électroniquement



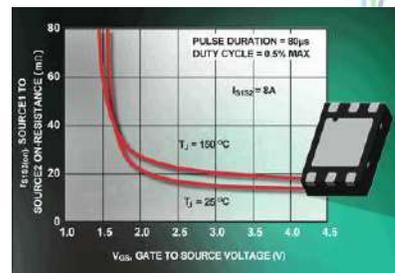
Layout by omgjee223, CC-BY

59

Applications

Le gain variable

- Utilisation d'un MOSFET
 - R_{ds} varie en fonction de V_{gs}
 - => à l'aide de V_{gs} , on règle R_{ds}
- Problèmes :
 - Non linéarité du MOSFET
 - Varie beaucoup avec la température



Layout by omgjee223, CC-BY

60