



du Système à la Fonction

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

EFREI – L1 – Février 2014

Pierre Prot – pierre.prot@efrei.net –



Layout by omgjee223, 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 omgjee223, 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

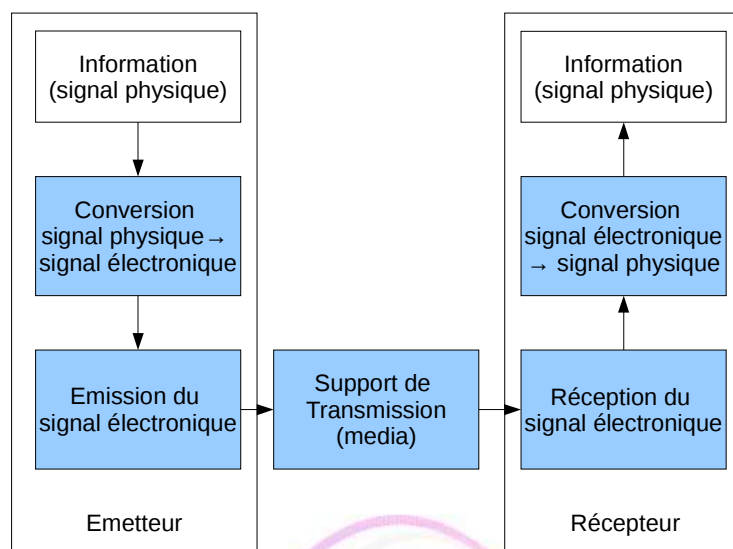
Introduction : l'électricité comme support de communication

- 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

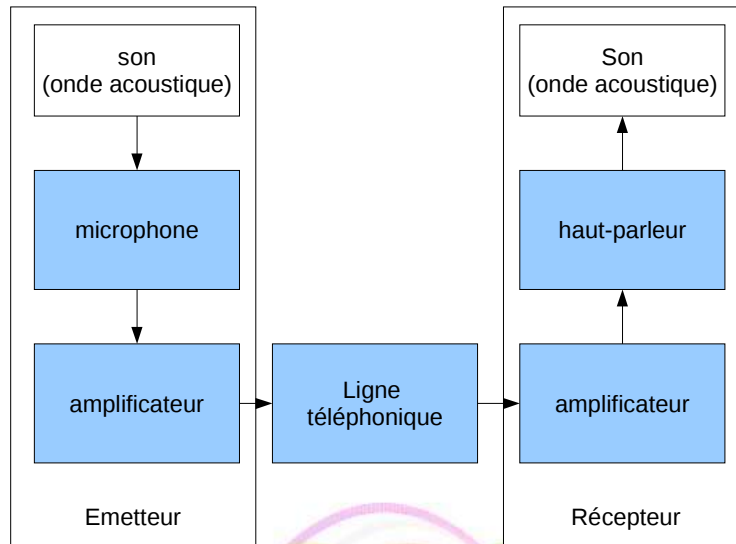
Introduction : schéma d'une transmission électronique



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

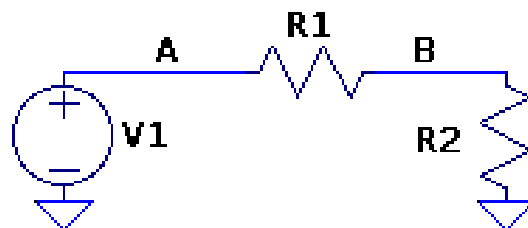
Rappels d'électronique la tension électrique

- 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

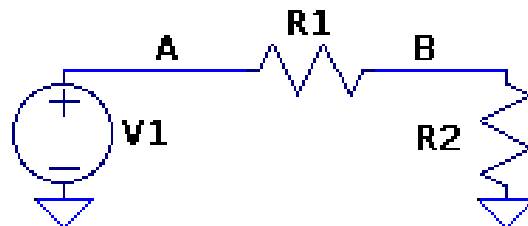
Rappels d'électronique : Le courant électrique

- 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

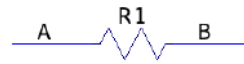
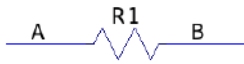


Layout by omgjee223, CC-BY

14

Rappels d'électronique : la loi d'Ohm

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



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

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

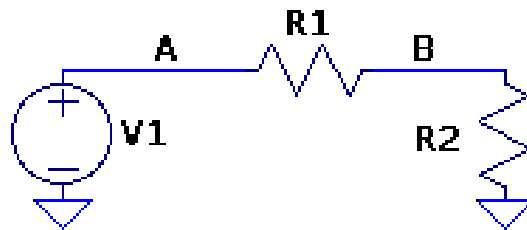
- Puissance multipliée par le temps durant lequel elle est développée
- $dE = dP \cdot dt$
- $E = \int_{de 0 \text{ à } T} (P(t) \cdot dt)$
- Exemples :
 - 1W pendant 1s =
 - 1W pendant 1h =
 - 1kW pendant 1h =
 - 10W pendant 1 journée =
 - 1kWh dépensé en 2h =

Layout by omgjee223, CC-BY

18

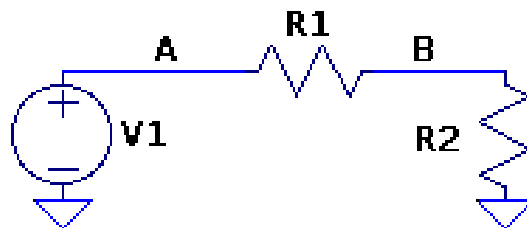
Rappels d'électronique : Loi d'additivité des tension

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



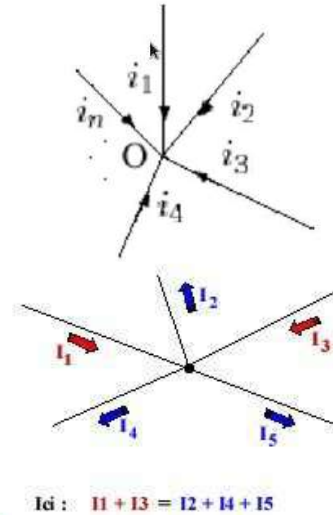
Rappels d'électronique : Loi d'additivité des tension

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



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 !

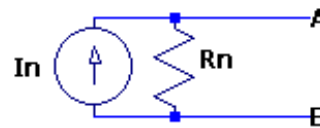
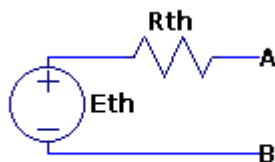


Layout by omgjee223, CC-BY

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

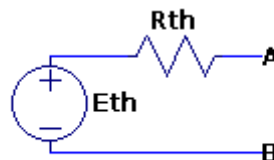
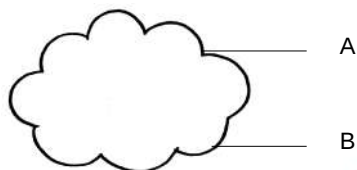
Layout by omgjee223, CC-BY

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

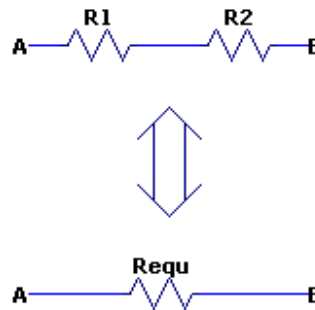
- Délimiter précisément “le circuit” à convertir. Il ne doit avoir que deux points dits “de sortie”
- Calculer la tension entre les deux points de sortie du circuit, connectés “à rien d'autre” (ie : “à vide”)
 - => c'est E_{th}
- “Couper les générateurs”
 - Génés de courant => $I = 0$ => circuit ouvert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

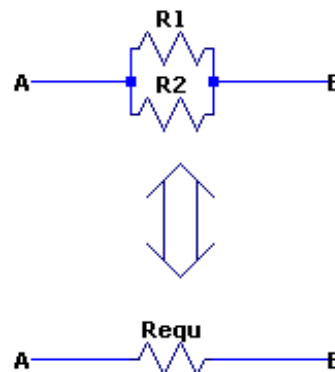
Rappels d'électronique : Résistances en série

- $R_{\text{equ}} =$
- Plus de 2 en série ?
 - $R_{\text{equ}} =$

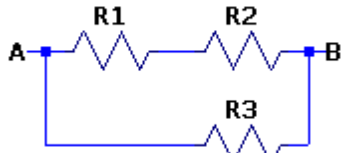


Rappels d'électronique : Résistances en parallèle

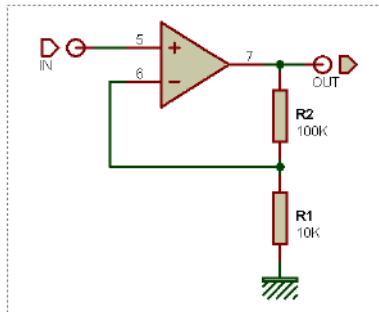
- $R_{\text{equ}} = R1 // R2$
 - (notation pratique !)
- $R_{\text{equ}} =$
- Plus de 2 en parallèle ?
 - $1/R_{\text{equ}} =$
 - (les admittances se somment)



Rappels d'électronique : Résistances PAC



Montage en amplificateur non-inverseur :



Layout by

29

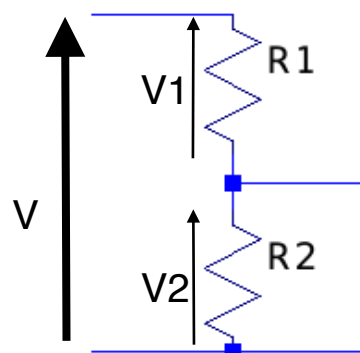
Rappels d'électronique : Pont diviseur de tension

- $V_1 = V \times (R_1)/(R_1+R_2)$

- $V_2 = V \times (R_2)/(R_1+R_2)$

- $V = V_1 + V_2$

- (loi des mailles !)



Layout by omgice223, CC-BY

30

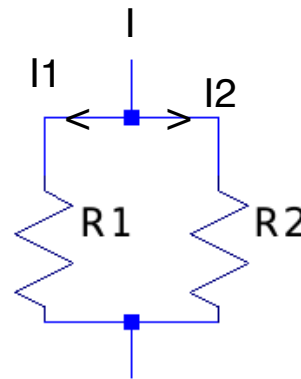
Rappels d'électronique : Pont diviseur de courant

- $I_1 = I \times (R_2)/(R_1+R_2)$

- $I_2 = I \times (R_1)/(R_1+R_2)$

- $I = I_1 + I_2$

- (loi des noeuds !)

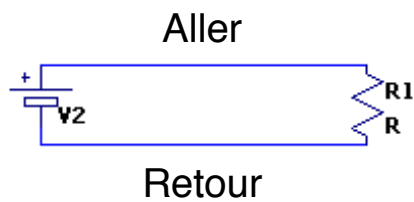


La transmission électrique

- 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

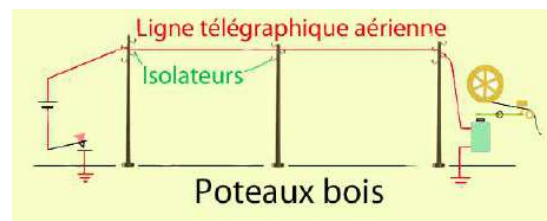
- Transmettre de l'énergie = transmettre une information
 - Présence / absence
 - Amplitude
 - Fréquence
 - ...
- Nécessité d'un codage information → énergie
 - Codage binaire
 - Morse
 - Signal analogique
 - Modulation
 - ...

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

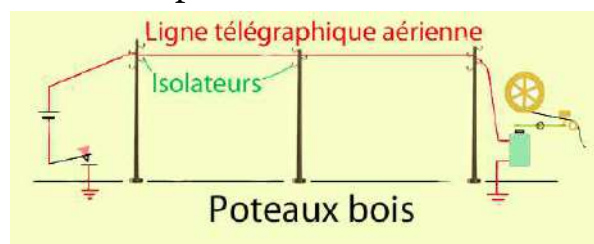
- Existence d'un bruit électromagnétique ambiant
- Le courant induit dans une boucle de courant est proportionnel à :
 - La dérivée du champ magnétique
 - La surface de la boucle
- Conclusion :
 - Pour avoir moins de bruit, il faut minimiser la surface de boucle

Layout by omgjee223, CC-BY

37

La transmission : Réduction du bruit électromagnétique

- 1 fil avec retour par la terre



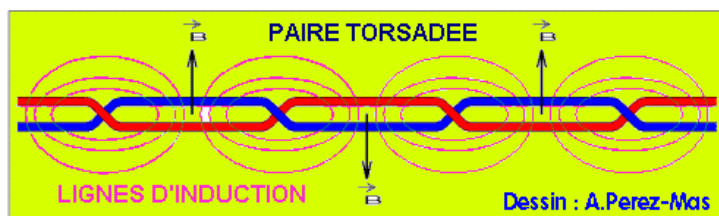
- 2 fils proches (paire différentielle)

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 μohms .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

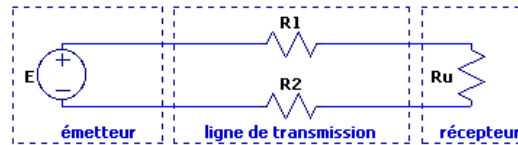
- Sur une longue distance : un fil peut être très résistif
 - Perte de puissance = $R \cdot I^2$

Layout by omgjee223, CC-BY

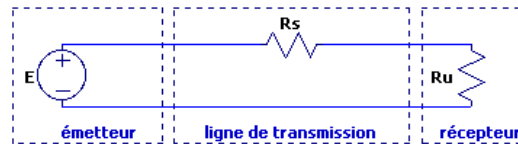
40

La transmission : pertes par effet Joule

- Modélisation de la résistance du fil :



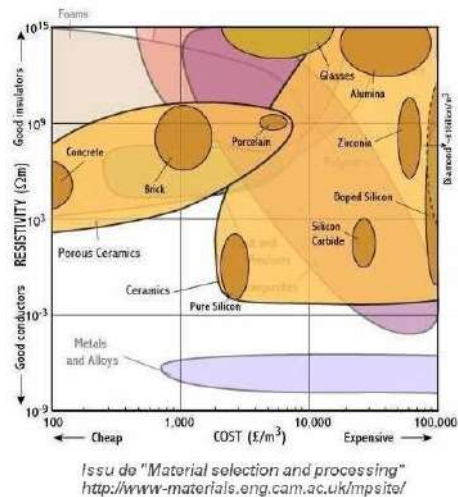
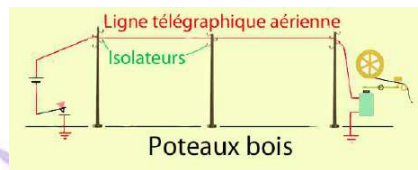
- Equivalent à :



Layout by omgjee223, CC-BY

La transmission : pertes par fuite de courant

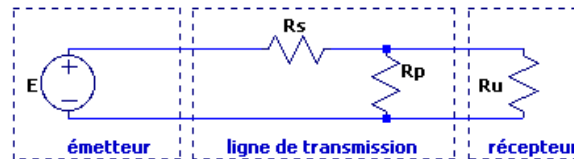
- Tout isolant présente des fuites de courant
- Fuites de courant dans l'isolant
 - => le courant envoyé dans la ligne n'arrive pas à 100% au bout



Layout by omgjee223, CC-BY


La transmission : pertes par fuites de courant

- Modélisation de la résistance de l'isolant :



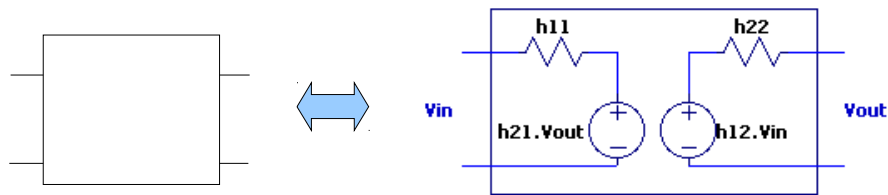
- Notes
 - le courant de fuite reste faible (quelques nA, μ A, mA) devant le courant nominal dans la ligne

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

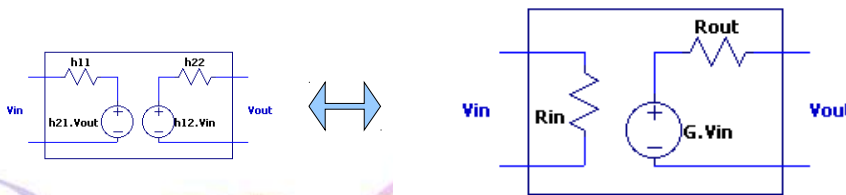


La transmission : Modélisation en quadripôle

- 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)

La transmission : Modélisation simplifiée du quadripôle

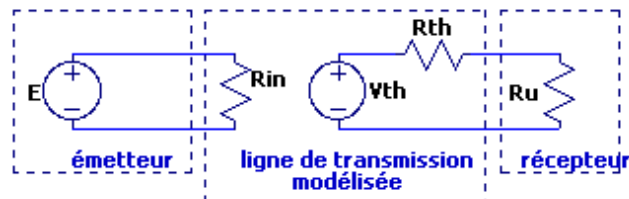
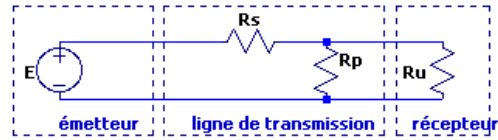
- Modèle simplifié
 - Impédance d'entrée
 - Géné de Thévenin en sortie
 - Par convention : courants sortants
- Valable uniquement si $h_{21} \ll h_{12}$
 - Ok pour la majorité des composants actifs modernes



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

La transmission : Modélisation quadripôle de la chaîne



Layout by omgjee223, CC-BY

49

La transmission : caractéristiques d'un quadripôle

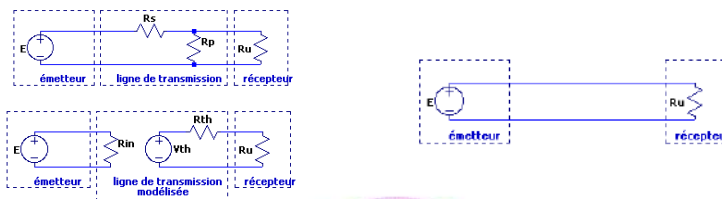
- Facteur de transfert en tension (gain en tension)
 - $G_v = V_{out} / V_{in}$
- Facteur de transfert en courant (gain en courant)
 - $G_i = I_{out} / I_{in}$
- Facteur de transfert intrinsèque en puissance (rendement)
 - Puissance fournie en sortie / puissance consommée en entrée
 - $\eta = P_{out}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

Layout by omgjee223, CC-BY

50

La transmission : caractéristiques d'un quadripôle

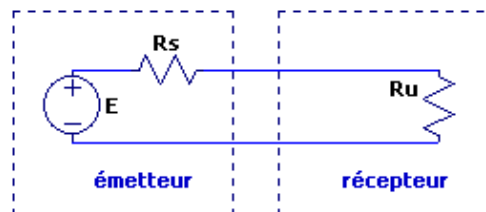
- Dans une chaîne :
 - G_v , G_i , η peuvent dépendre d'autres éléments de la chaîne
- Gain en puissance apporté par le quadripôle
 - $G_p = P_{out_avec_quadripôle} / P_{out_sans_quadripôle}$



Layout by omgice223, CC-BY

51

La transmission : l'adaptation d'impédance



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

Layout by omgice223, CC-BY

52

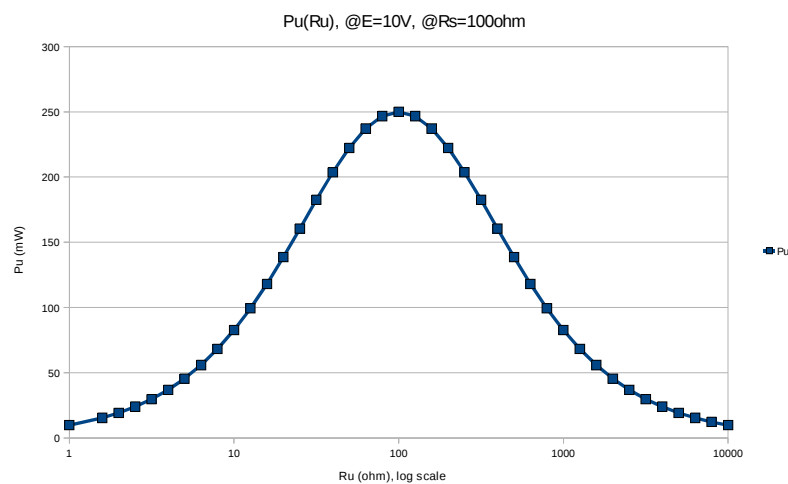
La transmission : l'adaptation d'impédance

- $R_u = \infty$ (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

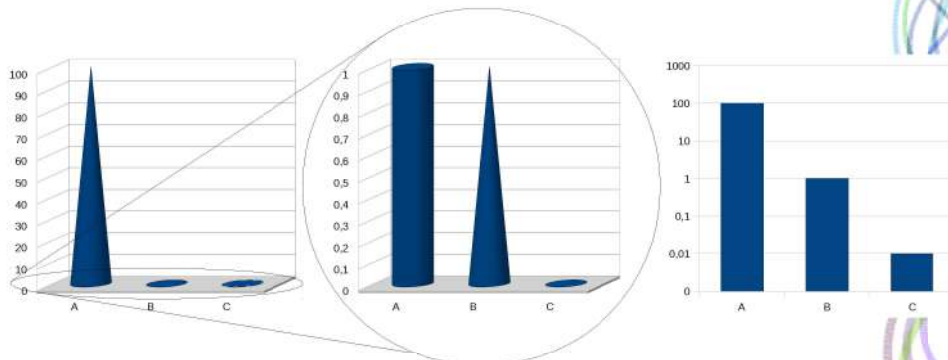
- Fonctionnement du Bel (Graham Bell) :
 - Au lieu de mesurer une puissance par “la valeur de sa puissance” (donc : en Watt)
 - On la mesure par “le log10 de la valeur de sa puissance”
- Exemple : le Bel
 - 1W =>
 - 10mW =>
 - 100W =>
 - 1 μ W =>
 - 1nW =>
- Si P est multiplié par 10 => P_Bel augmente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

Layout by omgjee223, CC-BY

59

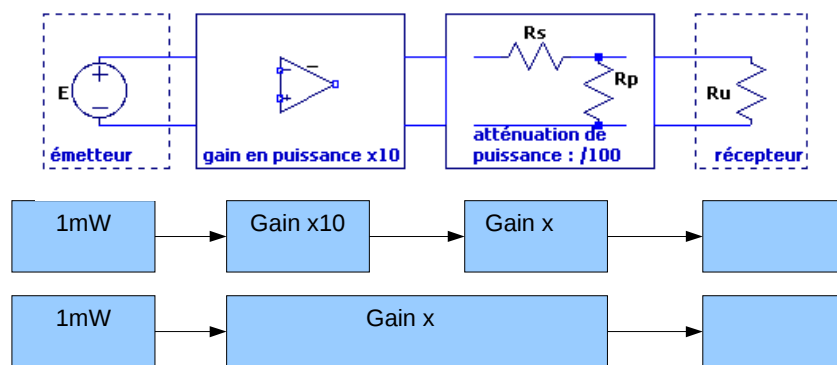
La transmission le décibel de puissance

- Le dBm = dB_miliWatt
 - $P_{\text{dBm}} = 10 \cdot \log_{10}(P_{\text{miliWatt}})$
 - 1mW =
 - 10W =
 - 1 μ W =
- 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

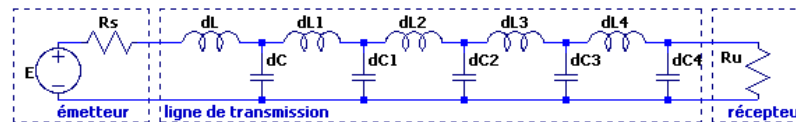
- Si $G_{dB} > 1$
 - Augmentation de puissance (“gain” de puissance)
- Si $G_{dB} < 1$
 - Diminution de puissance (atténuation)
- Dans une chaîne
 - Les gains en termes réels se multiplient
 - Les gains en dB s'additionnent

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 :

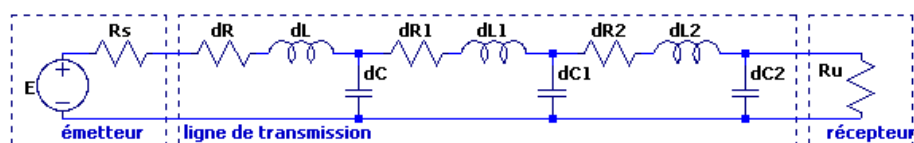


Layout by omgjee223, CC-BY

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 !

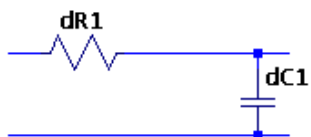


Layout by omgjee223, CC-BY

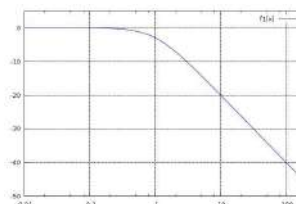
69

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

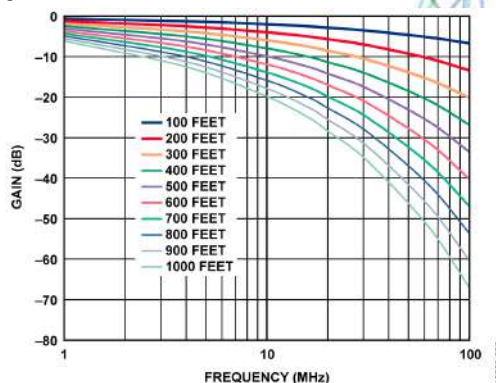
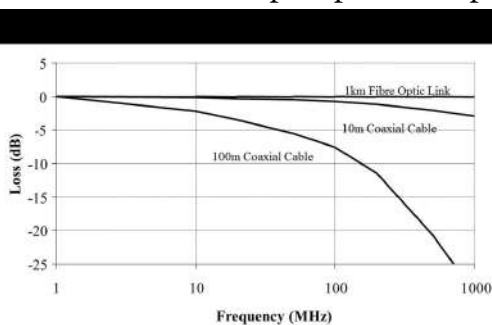


Layout by omgjee223, CC-BY

70

La transmission : problématique de filtrage

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



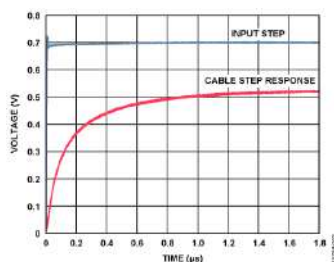
<http://www.vialite.com/rf-over-fibre.php>
<http://www.analog.com/en/circuits-from-the-lab/CN0275/vc.html>

Layout by omgjee223, c

71

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

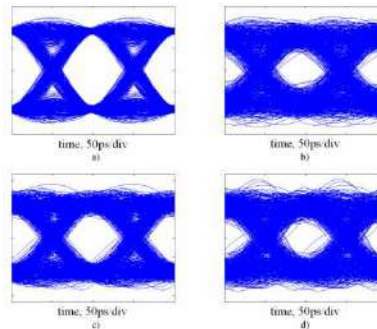
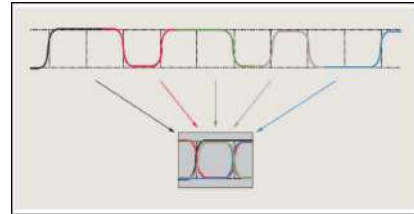


Layout by omgjee223, CC-BY

72

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>

73

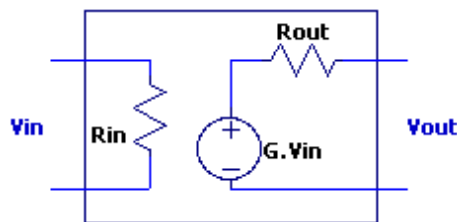
L'amplification Introduction

- 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

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)

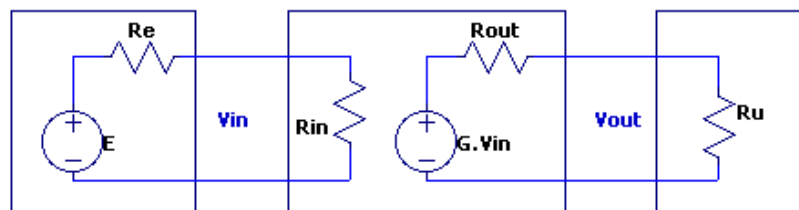


Layout by omgjee223, CC-BY

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

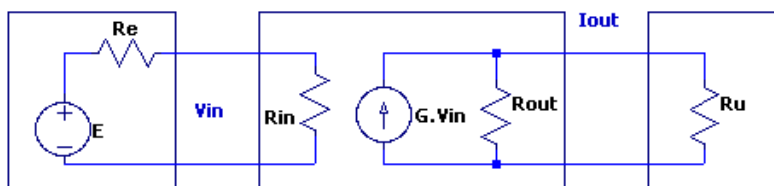
- Ampli parfait : $V_{out} = G \cdot V_{in}$
- Mais en réalité...
 - Problématiques de filtrage (bande passante non plate)
 - Certaines fréquences trop amplifiées, d'autres pas assez
 - Se voit sur le
 - Problématiques de linéarité (distorsion)
 - Signaux faibles bien amplifiés, mais signaux forts pas 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

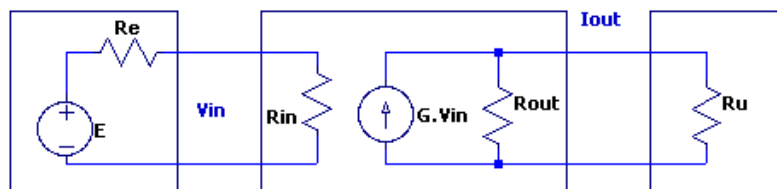


Layout by omgjee223, CC-BY

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

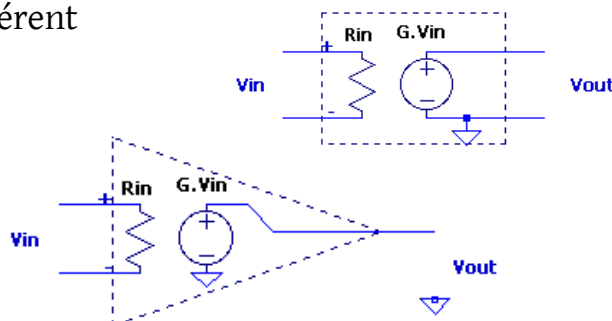
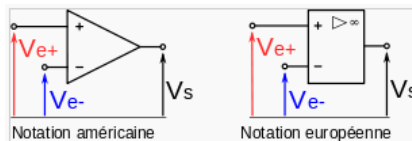
- Deux technologies principales :
 - Amplification à gain faible
 - Souvent à base d'ampli V-I (transistor) suivi d'une R
 - $V_{in} \rightarrow$ courant $I_n \rightarrow$ tension $I_n \cdot R$
 - Monte haut en fréquence
 - Parfois : problèmes de linéarité ou de précision du gain
 - Ampli à gain très 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



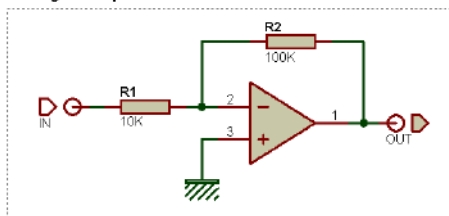
Layout by omgjee223, CC-BY

83

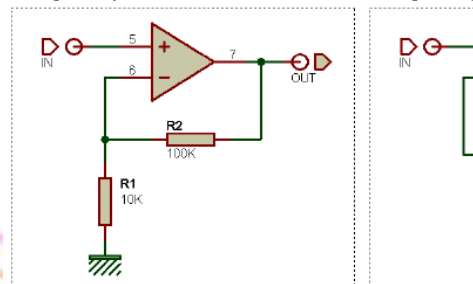
L'amplification Les montages AOP

- 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 :

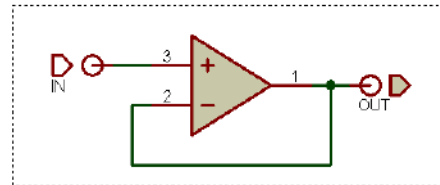


Layout by omgjee223, CC-BY

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
 - $V_{out} = G \cdot I_{in}$

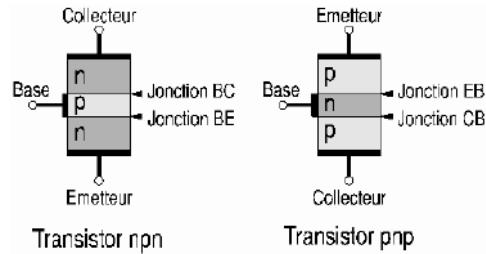
Montage en suiveur de tension :



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

87

L'amplification Le transistor NPN

- Schéma équivalent :



- Loi des noeuds :

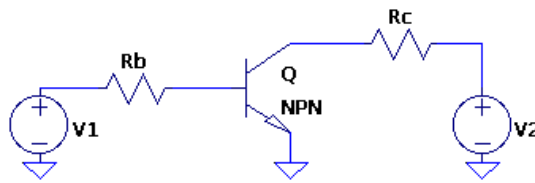
- $I_e = I_b + I_c$

Layout by omgjee223, CC-BY

88

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

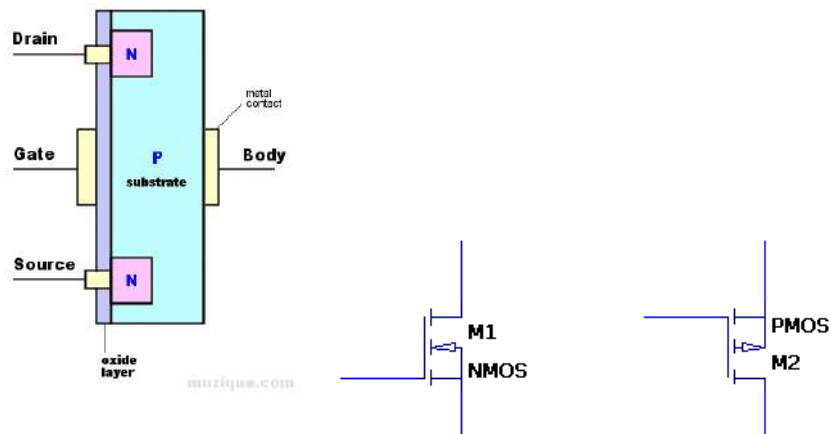
L'amplification Le régime bloqué du NPN

- 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

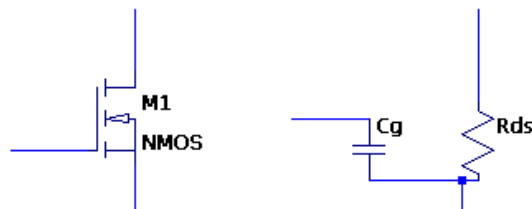


Layout by omgjee223, CC-BY

93

L'amplification Le transistor MOSFET canal N

- Schéma équivalent :



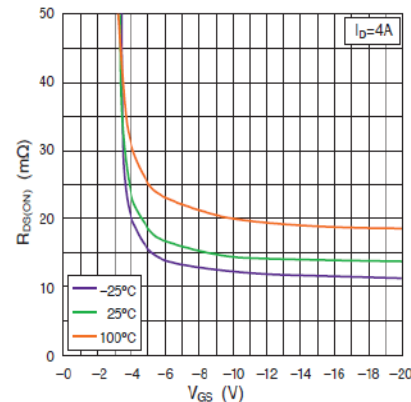
- Cg très petite (quelques pF à quelques nF)
 - Pas de courant DC dans la gate
 - Peu de courant AC dans la gate

Layout by omgjee223, CC-BY

94

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

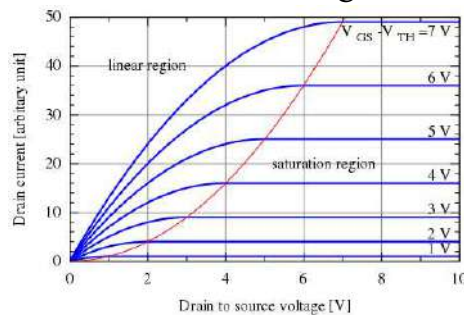


Layout by omgjee223, CC-BY

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



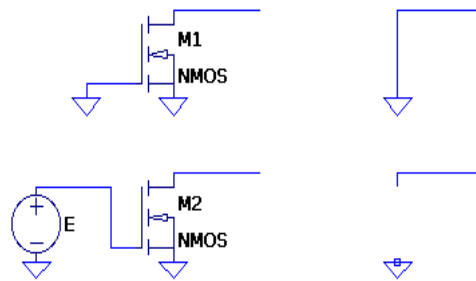
Layout by omgjee223, CC-BY

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

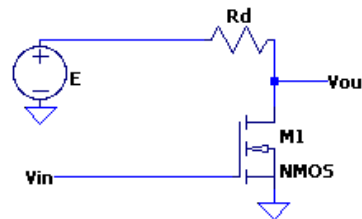
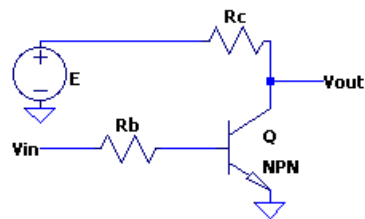
- Avantages :
 - $R_{ds(on)}$ peut être très faible, pas de $V_{ce(sat)}$
 - Chauffe moins
- Inconvénients :
 - Capa de gate problématique en HF
 - Limités en tension
- Applications :
 - Basse tension, forts courants, électronique de puissance
 - Découpage
 - Circuits numériques

Layout by omgjee223, CC-BY

98

L'amplification Montage E (ou S) commun

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



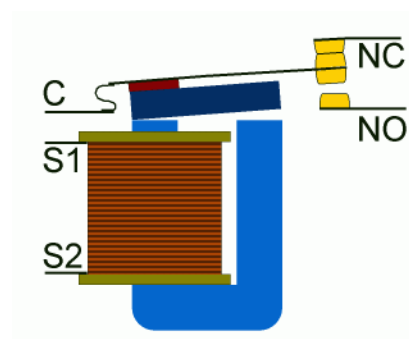
- Tirage masse : transistor
- Tirage à +E : résistance
- Problème de puissance max délivrable

Layout by omgjee223, 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

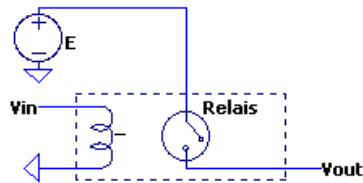


Layout by omgjee223, CC-BY

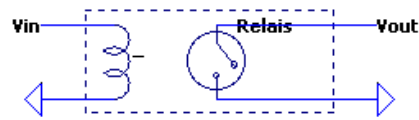
100

L'amplification à relais

- Relais au +



- Relais au -



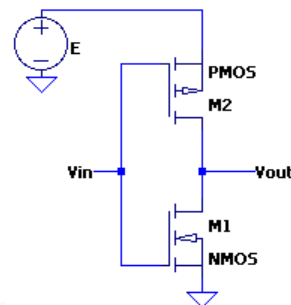
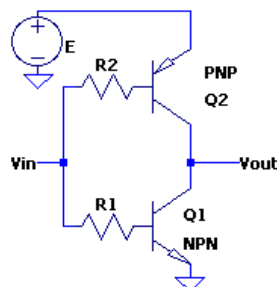
- Ne peut délivrer de la puissance que au + ou que au -, selon le montage choisi

Layout by omgjee223, CC-BY

101

L'amplification Pont de transistors

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



Layout by omgjee223, CC-BY

102

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