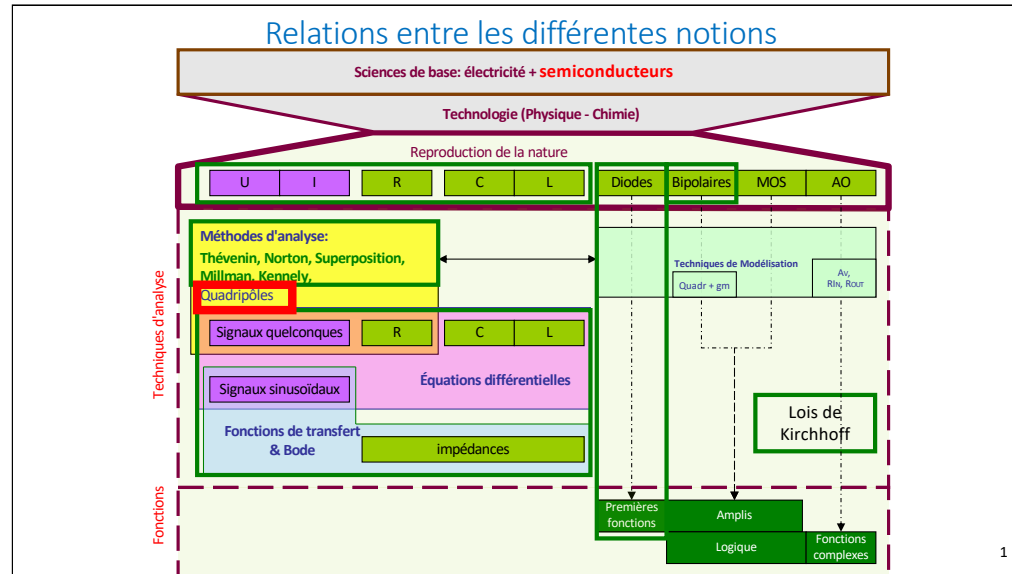
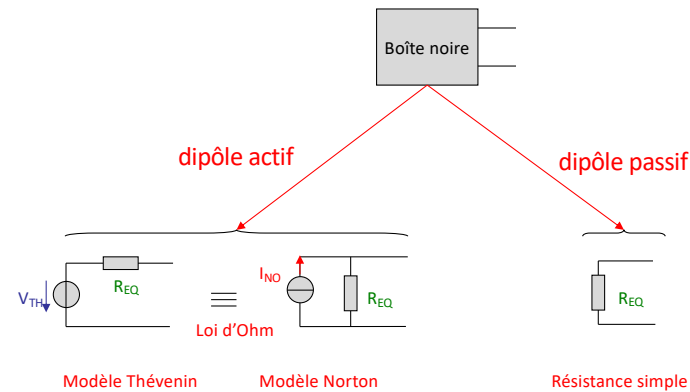




Le cours d'aujourd'hui est probablement l'un des plus originaux en terme de concept de modélisation. Il est simple à exploiter, mais peut paraître surprenant voire déroutant par son caractère parfois abstrait lorsque les circuits analysés se limitent à des résistances. C'est véritablement dans la suite du cours avec l'étude des transistors et l'analyse des amplificateurs, que la modélisation des quadripôles s'avérera un outil incontournable.

Rappel dipôle

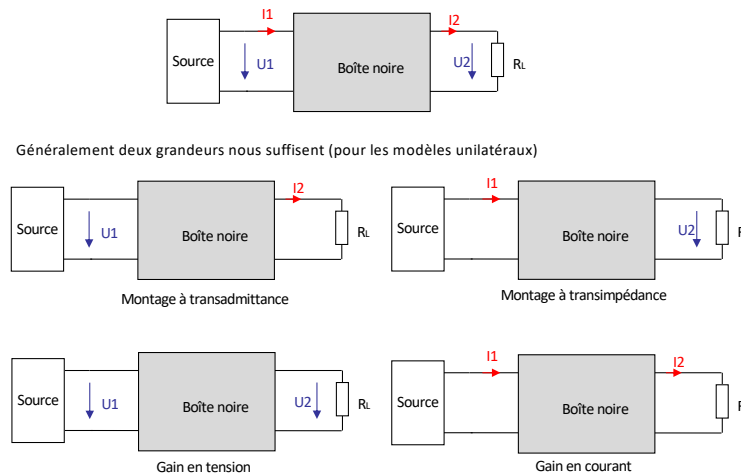


2

On rappelle que les dipôles étudiés la semaine précédente étaient:

- soient exclusivement constitués de résistances (dipôles passifs), pouvant se modéliser par une résistance unique
- Soient constitués d'une combinaison de résistances et de sources diverses, se modélisant de deux manières: Le modèle de **Thévenin** ou celui de **Norton**. Les deux modèles sont tout à faits équivalents puisque le lien permettant de passer de l'un à l'autre correspond à la loi d'Ohm.

Reproduction du concept de boîte noire pour les quadripôles



3

Le quadripôle comme son nom l'indique est une boîte noire vue depuis l'extérieur depuis quatre connexions.

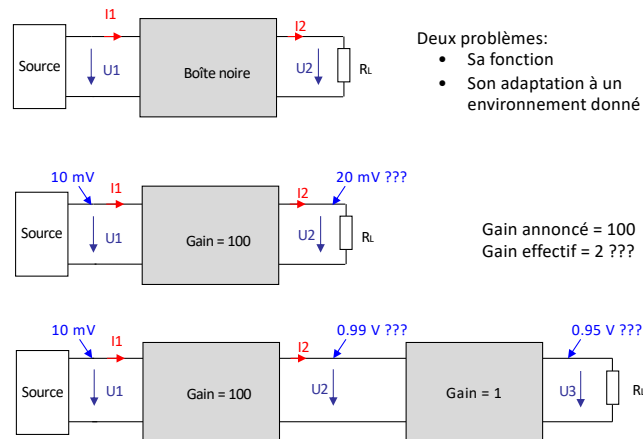
Leur rôle est de transformer un signal d'entrée en un signal qui sera appliqué à une sortie. En électricité la grandeur transformée est soit un courant, soit une tension, mais l'interfaçage entre des phénomènes de natures différentes permettrait d'exploiter ce concept pour des grandeurs de natures très variées (température, pression, viscosité, élasticité, ...).

Nous nous limiterons évidemment au domaine de l'électricité qui met en évidence quatre types de transformation

1. Tension vers tension: On parle de **gain en tension**
2. Courant vers courant: On parle de **gain en courant**
3. Tension vers courant: On parle de transconductance ou trans-admittance. Admittance ou conductance évoque la nature de la transformation. Ici « Trans » évoque la notion de **transformation**, alors que résistance ou impédance évoque la **nature** de la transformation
4. Courant vers tension: On parle de trans-résistance ou trans-impédance.

Remarque: On note que la notion de gain ne se limite pas à l'étude des amplificateurs. Un gain supérieur à 1 signifie qu'il y a amplification, alors qu'un gain inférieur à 1 implique une atténuation

Application des quadripôles



4

Les quadripôles correspondent donc à une autre forme de modélisation qui a pour but de simplifier l'analyse des circuits.

Tous les montages impliqués dans une transformation pourraient être modélisés avec des quadripôles (exemple: filtres, ampli, circuits de modulation,...), cependant, c'est principalement les amplis qui justifient cette exploitation.

L'efficacité d'une transformation nécessitera de connaître:

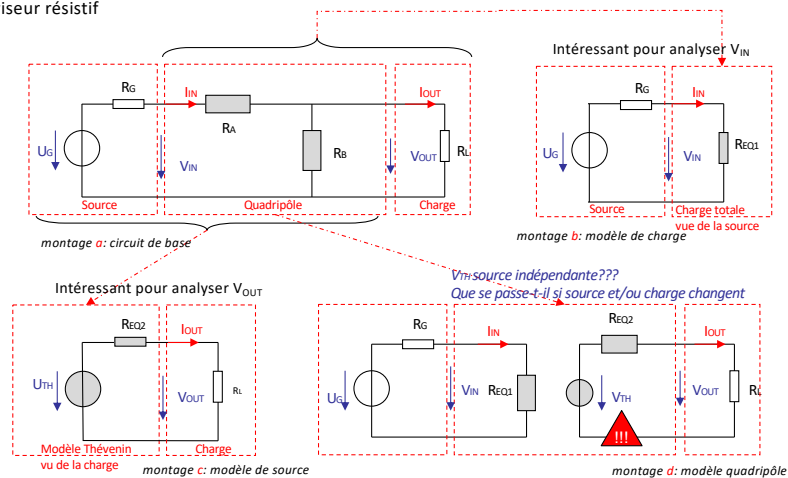
- les caractéristiques intrinsèques du quadripôle
- le contexte d'utilisation du quadripôle (son environnement)

Les caractéristiques du montage complet (quadripôle et son environnement) peuvent être très altérées (exemple: gain annoncé de 100 pour un gain réel de 2).

Pour exploiter les caractéristiques intrinsèques du quadripôle, il sera parfois nécessaire de le transformer, mais plus généralement de lui adjoindre d'autres circuits (quadripôles aussi) dont le rôle sera d'adapter le quadripôle à son environnement.

Première application [1]

Le diviseur résistif



5

La première application nous indique que le modèle du quadripôle ne peut se « deviner » à partir des concepts vus les semaines précédentes.

Pour illustrer cette situation nous prenons un simple diviseur résistif. Nous voyons bien qu'à l'entrée du diviseur est appliquée une tension appelée V_{IN} , alors qu'à la sortie nous obtenons une tension V_{OUT} . Vis à vis de l'extérieur, le diviseur forme un **quadripôle**.

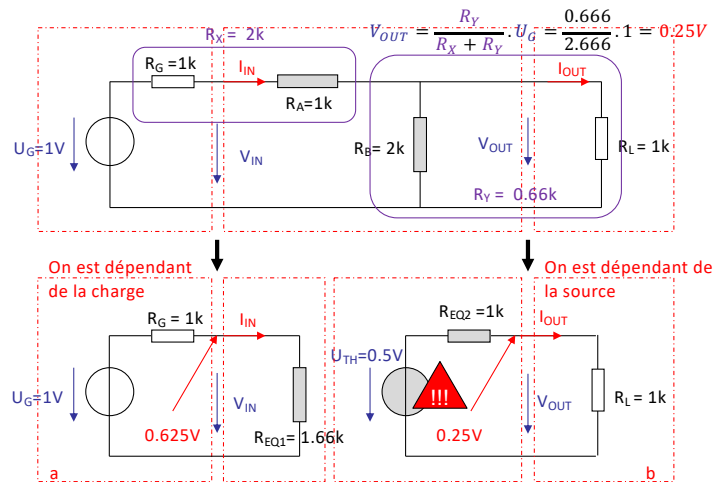
Nous disposons pour résoudre le problème de deux techniques de simplification:

1. Il est possible de fusionner toutes les résistances vues par la source, à savoir R_A , R_B et R_L . Cette fusion donne une résistance unique qui forme avec R_G un diviseur résistif. La tension obtenue à la sortie de la source (sur R_{EQ}) vaut V_{IN} comme dans le montage d'origine
2. Si l'on observe le dipôle vu depuis la charge, on constate qu'il est actif. Il est possible d'utiliser le modèle de Thévenin pour le réduire à une source de tension et une résistance. La tension obtenue sur R_L vaut V_{OUT} comme dans le montage d'origine

Au vu du montage **d**, on imagine que le modèle du quadripôle est une combinaison des montages **b** et **c**. On peut vérifier que les résultats sont corrects lors d'une application numérique. c'est correct. Cependant il y a deux problèmes.

1. Si la source ou la charge change, il faut recommencer tous les calculs. Il faudrait au moins trouver une invariance (comme dans Thévenin - Norton) soit pour la source, soit pour la charge. Pour les deux nous verrons que c'est impossible (il faut une autre forme de modélisation)
2. Conceptuellement, la source Thévenin apparaît indépendante sur le schéma, alors que dans la réalité elle dépend de la source U_G et des composants du quadripôle. C'est la notion complémentaire que nous évoquerons par la suite.

Première application [2] : Calculs



6

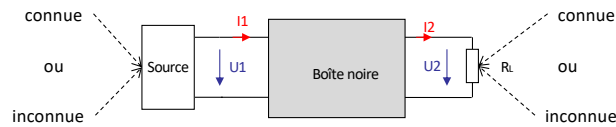
Dans le cas **a**, le modèle est dépendant de la charge utilisée

Dans le cas **b**, le modèle Thévenin est dépendant de la source utilisée, d'où l'erreur conceptuelle relevée dans la dia 5.

Problème dans un cas comme dans l'autre:

- on perd des informations. On aimerait être capable de calculer V_{IN} et V_{OUT}
- Que se passe-t-il si la source ou la charge sont inconnues?
- Que se passe-t-il si les deux sont inconnues?

Les situations analysées



1. **Source et charge connues:** Pas besoin de modéliser (tout est figé)
2. **Source inconnue et charge connue:** Modéliser la boîte noire pour être indépendante de la source
3. **Source connue et charge inconnue :** Modéliser la boîte noire pour être indépendante de la charge
4. **Source et charge inconnues:** Modéliser la boîte noire pour être indépendante de la charge et de la source

Attention :

- Les modèles proposés doivent permettre de calculer l'impact de la source et de la boîte noire sur une **charge uniquement** (différent si c'était une source).
- Quelle que soit la configuration, les **applications numériques pour la charge doivent être identiques**.
- Les localisations de la source et de la charge sont connues.

Cas général : On ne sait pas où sont localisées la source et la charge et on ne connaît pas leurs valeurs

7

La modélisation d'un quadripôle est liée au contexte d'utilisation.

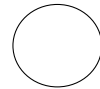
1. Dans le cas où l'environnement du quadripôle est entièrement déterminé, la modélisation n'a aucun intérêt puisque tout est figé.
2. Certaines gammes d'application utilisent toujours un même type de charge: exemple du domaine de la Hifi. Le modèle devra tenir compte de la charge, et rester indépendant de la source.
3. Certaines gammes d'application utilisent toujours un même type de source: exemple du domaine de l'instrumentation avec usage d'un même capteur, mais pour des usages différents. Le modèle devra tenir compte de la source, et rester indépendant de la charge.
4. Dans le cas général, ni la source, ni la charge ne sont connues. Le modèle doit être totalement indépendant de ces deux modules.

Remarque 1: Si dans le cas général, le modèle est indépendant de la source et de la charge, on pourrait très bien imaginer que charge et source soient permutées, ou encore disposer de deux sources, voire de deux charges.

Remarque 2: Les explications qui vont suivre sont pertinentes pour une configuration avec **une source et une charge** (ou récepteur).

Éléments complémentaires de modélisation

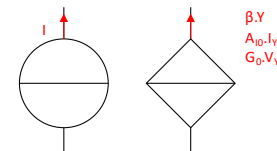
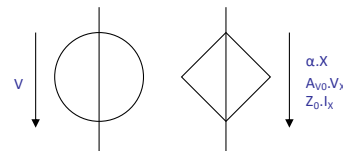
Source indépendant VS source dépendante



Source autonome
(indépendante)
Ex: le Soleil



Source **dépendante**
Ex: Un ruisseau qui s'écoule à la suite de la fonte d'un glacier soumis aux rayons du soleil



8

Les sources dépendantes, comme leur nom l'indique, dépendent d'une manifestation phénoménologique extérieure. On trouve dans la nature des sources dépendantes en grande quantité, justifiant **le principe de causalité**. En électricité, les capteurs et des actuateurs illustrent cette situation. Dans le cadre du cours d'aujourd'hui nous nous limiterons aux phénomènes purement électriques. Il est donc normal d'imaginer qu'une tension ou un courant contrôlent une source de tension, de même, une tension ou un courant contrôleront une source de courant.

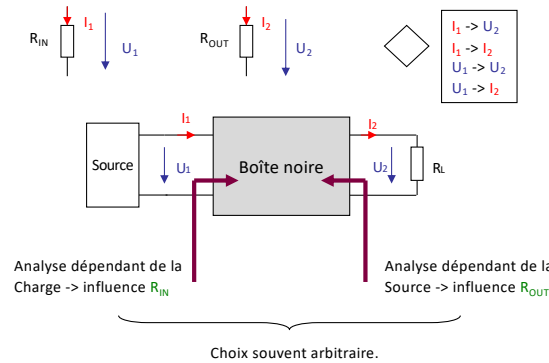
La différence entre des sources dépendantes et des sources indépendantes est symbolisée par un losange. Comme pour les sources indépendantes, la barre située dans la continuité de la connexion de la source ou perpendiculaire à cette connexion, exprime (comme pour les sources indépendantes) la nature de la source (courant ou tension).

Influence de la source et de la charge

Vue de l'extérieur la boîte noire présente 4 valeurs (I_1 , U_1 , I_2 , U_2)

Il faut donc **trois relations** pour lier ces 4 valeurs.

Ces trois relations peuvent être décrites à partir de 3 composants:



9

Les quadripôles mettent en jeu deux couples de paramètres (V_{IN} , I_{IN} en entrée) et (V_{OUT} , I_{OUT} en sortie).

Pour lier 4 paramètres, il est nécessaire d'identifier 3 équations. Ces 3 équations donneront les valeurs des éléments composant le quadripôle:

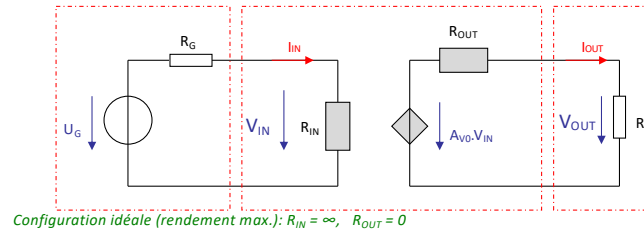
- Une résistance d'entrée (R_{IN}) mettant linéairement en relation I_1 et U_1
- Une résistance de sortie (R_{OUT}) mettant linéairement en relation I_2 et U_2
- Une **source dépendante** (tension ou courant selon le modèle utilisé) qui met en relation un paramètre d'entrée et un paramètre de sortie

Nous avons vu précédemment que les présences d' une source et d' une charge influencent le comportement du quadripôle, alors que dans le cours sur les dipôles les modèles (Thévenin et Norton) ne dépendaient pas de l'environnement.

En fait, c'est assez logique car le quadripôle a pour objectif naturel de transformer un signal d'entrée en signal de sortie. Il y a donc bien une influence. Les quadripôles que nous étudions en première partie vont aboutir à des modèles où l'entrée et la sortie ne s'influencent pas mutuellement.

Modélisation [1]

Gain en tension



	Principe du ohmmètre qui remplace la source	Principe du ohmmètre qui remplace R_L	Gain nominal, éliminer R_L
Si la charge est connue	$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \Big _{f(R_L)}$	$R_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}} \Big _{V_{IN}=0}$	$A_{V0} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \Big _{I_{OUT}=0}$
Si la source est connue	$R_{IN} = \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \Big _{R_L=\infty}$	$R_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}} \Big _{f(R_G), U_G=0}$	$A_{V0} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \Big _{I_{OUT}=0}$

10

La première forme de modélisation se traduit par une source de tension commandée en tension.

Deux modèles sont disponibles:

1. Modèle tenant compte de la charge:

- La charge influence le calcul de la résistance R_{IN} . R_{IN} est la résistance vue depuis la source en intégrant la charge dans le calcul.
- La résistance de sortie ne tient pas compte de la source. Se débarrasser de la source revient à court-circuiter cette dernière. Une tension nulle n'influencera pas le calcul de R_{OUT} (comme pour le cas de Thévenin - Norton)
- La source de tension est commandée en tension. Dans le calcul on considère comme dans **Thévenin** que la valeur de la source de tension est obtenue à la sortie à vide (rien n'est connecté à la sortie).

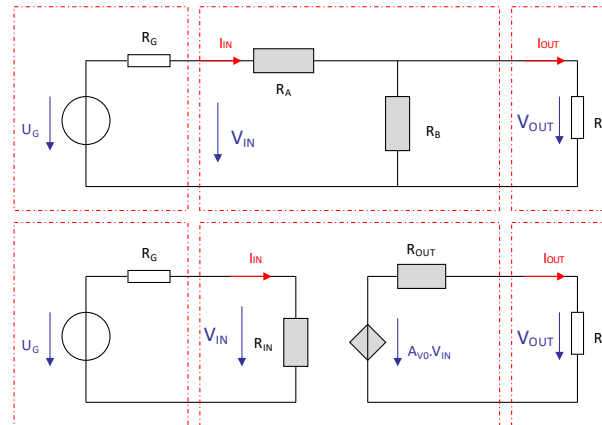
2. Modèle tenant compte de la source:

- La charge n'influence pas le calcul de la résistance R_{IN} . Pour que la charge n'influence pas le calcul de R_{IN} on la considère infinie.
- La résistance de sortie, en revanche, tient compte de la source. Attention, non pas au niveau de la tension, mais au niveau de sa résistance interne. En d'autres termes on court-circuite U_G , mais R_G est intégrée dans le calcul de R_{OUT} .
- La source de tension est évaluée exactement dans la même façon que précédemment.

Remarque: Un quadripôle idéal devrait permettre d'appliquer toute la tension U_G sur la charge. Cela suppose un rendement de 100% avec R_{IN} infinie et R_{OUT} nulle

Premier exemple

Le diviseur résistif



Deux visions possibles donnant les mêmes résultats

11

Les explications précédentes peuvent paraître abstraite, et il serait très long pour démontrer analytiquement la pertinence de ce modèle.

Le plus simple serait de développer un exemple complet à partir de différentes méthodes qui aboutiraient toutes au même résultat.

- Méthode 1: Calcul direct de la tension V_{OUT} , sans tenir compte d'aucun modèle.
- Méthode 2: Modéliser avec Thévenin, la source que voit la charge et en déduire V_{OUT} .
- Méthode 3: Modéliser le quadripôle en tenant compte de la charge, et en déduire V_{OUT} .
- Méthode 4: Modéliser le quadripôle en tenant compte de la source, et en déduire V_{OUT} .

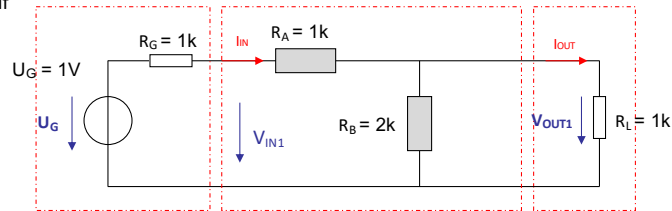
Dans les quatre cas, V_{OUT} doit être identique.

Avec l'application numérique proposée dans la diapositive 6 nous aurions aussi trouvé $V_{OUT} = 0.25V$

Remarque : Avec les approches proposées, le calcul de V_{IN} n'est pas forcément correct, mais cela ne remet pas en cause la méthode qui a pour objectif de calculer l'impact sur la charge.

Premier exemple - développement [1]

Le diviseur résistif

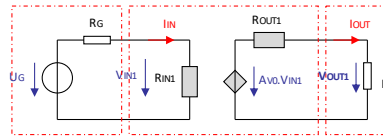


Modèle source inconnue, charge connue

$$R_{IN1} = R_A + (R_B \parallel R_L) = \frac{5}{3} k\Omega$$

$$R_{OUT1} = R_B \parallel R_A = \frac{2}{3} k\Omega$$

$$A_{V0} = \frac{R_B}{R_A + R_B} = \frac{2}{3}$$



$$V_{IN1} = U_G \frac{R_{IN1}}{R_{IN1} + R_G} = 1 * \frac{\frac{5}{3}}{\frac{5}{3} + 1} = \frac{5}{8} V$$

$$A_{V0} \cdot V_{IN1} = \frac{2}{3} * \frac{5}{8} = \frac{10}{24} V$$

$$V_{OUT1} = A_{V0} \cdot V_{IN1} \cdot \frac{R_L}{R_{OUT1} + R_L}$$

$$V_{OUT1} = \frac{10}{24} * \frac{1}{\frac{2}{3} + 1} = \frac{10}{24} * \frac{3}{5} = \mathbf{0.25V}$$

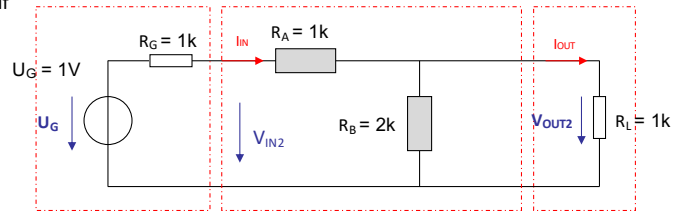
12

L'application numérique pour V_{OUT1} donne un résultat identique au calcul de la dia 6.

A noter que le calcul de V_{IN1} donne aussi le même résultat. Ce n'est pas une garantie (la dia suivante montrera d'ailleurs le contraire) et cela n'a aucune importance compte tenu de l'objectif annoncé.

Premier exemple - développement [2]

Le diviseur résistif

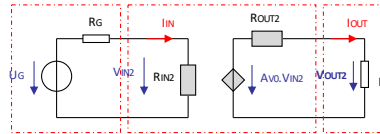


Modèle source connue, charge inconnue

$$R_{IN2} = R_A + R_B = 3 \text{ k}\Omega$$

$$R_{OUT2} = R_B \parallel (R_A + R_G) = 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_{V0} = \frac{R_B}{R_A + R_B} = \frac{2}{3}$$



$$V_{IN2} = U_G \frac{R_{IN2}}{R_{IN2} + R_G} = 1 * \frac{3}{3 + 1} = \frac{3}{4} \text{ V}$$

$$A_{V0} \cdot V_{IN2} = \frac{2}{3} * \frac{3}{4} = 0.5 \text{ V}$$

$$V_{OUT2} = A_{V0} \cdot V_{IN2} \cdot \frac{R_L}{R_{OUT2} + R_L}$$

$$V_{OUT2} = 0.5 * \frac{1}{1 + 1} = \mathbf{0.25V \text{ CQFD}}$$

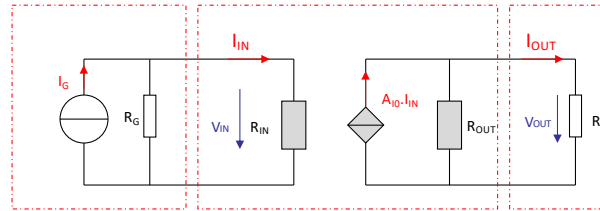
13

Là encore, l'application numérique pour V_{OUT2} donne un résultat identique au calcul de la dia 6.

En revanche, les valeurs intermédiaires sont différentes, qu'il s'agisse de V_{IN2} ou de $A_{V0} \cdot V_{IN2}$

Modélisation [2]

Gain en courant



Configuration idéale (rendement max.): $R_{IN} = 0$, $R_{OUT} = \infty$

Si la charge est connue

$$R_{IN} = \left. \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \right|_{f(R_L)}$$

$$R_{OUT} = \left. \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}} \right|_{I_{IN}=0}$$

$$A_{I0} = \left. \frac{I_{OUT}}{I_{IN}} \right|_{V_{OUT}=0}$$

Si la source est connue

$$R_{IN} = \left. \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \right|_{R_L=\infty}$$

$$R_{OUT} = \left. \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}} \right|_{f(R_G), I_G=0}$$

$$A_{I0} = \left. \frac{I_{OUT}}{I_{IN}} \right|_{V_{OUT}=0}$$

14

La seconde forme de modélisation se traduit par une source de courant commandée en courant.

Comme pour la première transformation, deux modèles sont disponibles:

1. Modèle tenant compte de la charge:

- Comme dans la version 1, la charge influence le calcul de la résistance R_{IN} qui est intégrée dans le calcul.
- La résistance de sortie ne tient pas compte de la source. Se débarrasser de la source de courant revient à enlever celle-ci (circuit ouvert). Une courant nul n'influencera pas le calcul de R_{OUT} (comme pour le cas de Thévenin - Norton)
- La source de courant est commandée en courant. Dans le calcul on considère comme dans **Norton** que la valeur de cette source de courant est obtenue en court-circuitant la sortie.

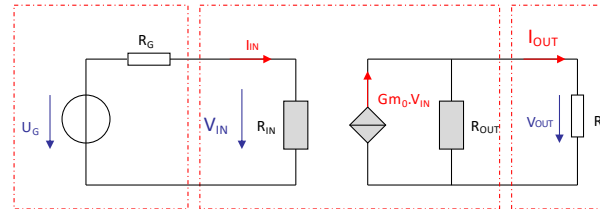
2. Modèle tenant compte de la source:

- La charge n'influence pas le calcul de la résistance R_{IN} . Pour que la charge n'influence pas le calcul de R_{IN} on la considère infinie.
- La résistance de sortie, en revanche, tient compte de la source. Attention, non pas au niveau du courant, mais au niveau de sa résistance interne. En d'autres termes on enlève I_G , mais R_G est intégrée dans le calcul de R_{OUT} .
- La source de courant est évaluée exactement dans le même façon que précédemment.

Remarque: Un quadripôle idéal devrait permettre d'appliquer tout le courant I_G sur la charge. Cela suppose un rendement de 100% avec R_{IN} nulle et R_{OUT} infinie

Modélisation [3]

Transadmittance



Configuration idéale (rendement max.): $R_{IN} = \infty$, $R_{OUT} = \infty$

Si la charge est connue

$$R_{IN} = \left. \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \right|_{f(R_L)}$$

$$R_{OUT} = \left. \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}} \right|_{V_{IN}=0}$$

$$G_{m0} = \left. \frac{I_{OUT}}{V_{IN}} \right|_{V_{OUT}=0}$$

Si la source est connue

$$R_{IN} = \left. \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \right|_{R_L=\infty}$$

$$R_{OUT} = \left. \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}} \right|_{f(R_G), U_G=0}$$

$$G_{m0} = \left. \frac{I_{OUT}}{V_{IN}} \right|_{V_{OUT}=0}$$

15

La troisième forme de modélisation se traduit par une source de courant commandée en tension.

Comme pour la première transformation, deux modèles sont disponibles:

1. Modèle tenant compte de la charge:

- Comme dans la version 1, la charge influence le calcul de la résistance R_{IN} qui est intégrée dans le calcul.
- La résistance de sortie ne tient pas compte de la source. Ici on se débarrasse comme dans la version 1, de la source de tension.
- La source de courant est commandée en tension (transconductance). Dans le calcul on considère comme dans **Norton** que la valeur de cette source de courant est obtenue en court-circuitant la sortie.

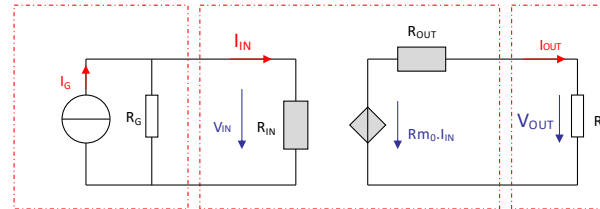
2. Modèle tenant compte de la source:

- La charge n'influence pas le calcul de la résistance R_{IN} . Pour que la charge n'influence pas le calcul de R_{IN} on la considère infinie.
- La résistance de sortie, en revanche, tient compte de la source. Attention, non pas au niveau de la tension, mais au niveau de sa résistance interne. En d'autres termes on court-circuite U_G , mais R_G est intégrée dans le calcul de R_{OUT} .
- La source de courant est évaluée exactement dans le même façon que précédemment.

Remarque: Un quadripôle idéal devrait permettre d'appliquer toute la tension U_G sur la charge. Cela suppose un rendement de 100% avec R_{IN} infinie et R_{OUT} infinie

Modélisation [4]

Transimpédance



Configuration idéale (rendement max.): $R_{IN} = 0$, $R_{OUT} = 0$

Si la charge est connue

$$R_{IN} = \left. \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \right|_{f(R_L)}$$

$$R_{OUT} = \left. \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}} \right|_{I_{IN}=0}$$

$$R_{m0} = \left. \frac{V_{OUT}}{I_{IN}} \right|_{I_{OUT}=0}$$

Si la source est connue

$$R_{IN} = \left. \frac{V_{IN}}{I_{IN}} \right|_{R_L=\infty}$$

$$R_{OUT} = \left. \frac{V_{OUT}}{I_{OUT}} \right|_{f(R_G), I_G=0}$$

$$R_{m0} = \left. \frac{V_{OUT}}{I_{IN}} \right|_{I_{OUT}=0}$$

16

La quatrième forme de modélisation se traduit par une source de tension commandée en courant.

Comme pour la première transformation, deux modèles sont disponibles:

1. Modèle tenant compte de la charge:

- Comme dans la version 1, la charge influence le calcul de la résistance R_{IN} qui est intégrée dans le calcul.
- La résistance de sortie ne tient pas compte de la source. Ici on se débarrasse comme dans la version 2, de la source de courant.
- La source de tension est commandée en courant (transrésistance ou transimpédance). Dans le calcul on considère comme dans **Norton** que la valeur de cette source de tension est obtenue à la sortie sans charge (à vide).

2. Modèle tenant compte de la source:

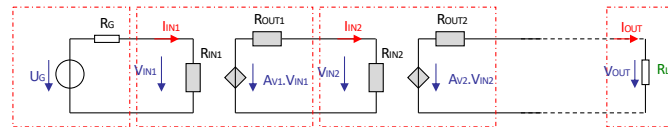
- La charge n'influence pas le calcul de la résistance R_{IN} . Pour que la charge n'influence pas le calcul de R_{IN} on la considère infinie.
- La résistance de sortie, en revanche, tient compte de la source. Attention, non pas au niveau du courant, mais au niveau de sa résistance interne. En d'autres termes on enlève I_G , mais R_G est intégrée dans le calcul de R_{OUT} .
- La source de courant est évaluée exactement dans le même façon que précédemment.

Remarque: Un quadripôle idéal devrait permettre d'appliquer tout le courant I_G sur la charge. Cela suppose un rendement de 100% avec R_{IN} nulle et R_{OUT} nulle

Objectifs

Mettre en cascade des blocs fonctionnels

- Complexité intrinsèque de chaque bloc
- Masse d'information à gérer



Créer des bibliothèques de fonctionnalités avec:

- R_{IN} , R_{OUT} , source
- Les expressions des trois paramètres

17

Comme nous le verrons dans le cours sur les amplificateurs, la modélisation des quadripôles permet de travailler avec des blocs fonctionnels qui s'assembleront comme des pièces de LEGO, avec un minimum d'effort d'évaluation.

En fait l'effort est consenti lors de la modélisation de chaque bloc fonctionnel.

Une mise en cascade de plusieurs blocs nous donne deux valeurs:

1. Un facteur de transformation nominal. Par exemple un gain total correspondant au produit des gains de tous les étages composants le montage.
2. Un facteur de rendement. L'assemblage de deux étages forme chaque fois un diviseur résistif qui génère un rendement inférieur à 100%. Le produit de tous ces rendements donne un rendement global.

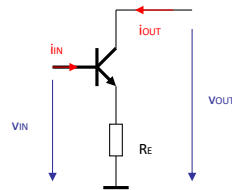
Le produit du facteur global de transformation par le rendement global, nous donne le facteur de transformation réel du montage.

Amplis bilatéraux

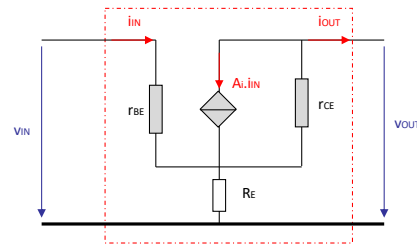
(voir cours sur les transistors)

Entrée et sortie s'influencent mutuellement

Exemple de circuit



Modèle associé au transistor



Transformation possible pour retrouver l'un des quatre modèles de base

18

Dans les développements précédents, les modèles étaient obtenus sur des montages unipolaires où entrée et sortie ne s'influençaient pas. Ils étaient totalement découplés.

Lors de l'étude sur les transistors, nous verrons comment certains montages (comme celui proposé en exemple) impose une influence mutuelle entre la sortie et l'entrée. Ici c'est la présence de la résistance R_E qui est à l'origine de cette situation.

Nous verrons qu'il est possible de transformer ce modèle intermédiaire pour retrouver l'un des quatre modèles étudiés.

Cas Général

Indépendance totale de l'environnement

Bloc G et Bloc D non spécifiés



Nous avons ici 16 configurations différentes:

Vue de Bloc G:

- une résistance et
- un élément de transformation (Gain en tension, gain en courant, transimpédance, transadmittance)

Vue du Bloc D:

- une résistance et
- un élément de transformation (Gain en tension, gain en courant, transimpédance, transadmittance)

19

Dans le cas général, la localisation de la source et de la charge n'a aucune importance. Il est même possible d'imaginer que nous ayons deux sources de part et d'autre du quadripôle, voire deux charges. La modélisation doit donc s'exécuter indépendamment de l'environnement.

16 modèles peuvent être développés pour le quadripôle:

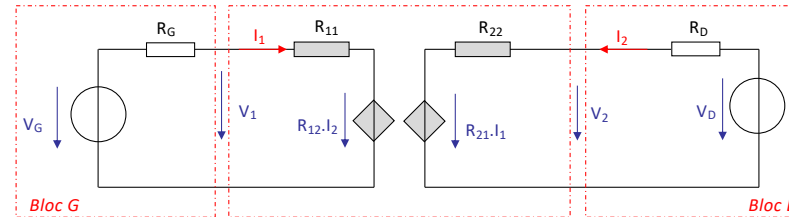
- Le bloc G (gauche) voit deux composants: une résistance et un élément de transformation. L'élément de transformation représente, sous l'une des quatre formes connues, l'influence que le bloc D a sur le bloc G ou encore
 - $U2 \rightarrow U1$ (Gain en tension)
 - $U2 \rightarrow I1$ (transConductance ou transAdmittance)
 - $I2 \rightarrow I1$ (Gain en courant)
 - $I2 \rightarrow U1$ (transRésistance ou transImpédance)
- Le bloc D (droit) voit aussi deux composants: une résistance et un élément de transformation. L'élément de transformation représente, sous l'une des quatre formes connues, l'influence que le bloc G a sur le bloc D ou encore
 - $U1 \rightarrow U2$ (Gain en tension)
 - $U1 \rightarrow I2$ (transConductance ou transAdmittance)
 - $I1 \rightarrow I2$ (Gain en courant)
 - $I1 \rightarrow U2$ (transRésistance ou transImpédance)

Si on combine les deux vues on obtient 16 combinaisons possibles. Nous n'étudierons pas cette partie très mathématique et peu utile dans la suite du cours

Cas Général

Représentation matricielle du quadripôle

1 modèle parmi les 16 modèles possibles



L'analyse des branches V_1 et V_2 donne les relations suivantes

$$\begin{aligned} V_1 &= R_{11} \cdot I_1 + R_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= R_{21} \cdot I_1 + R_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

On peut représenter ces relations de manière matricielle

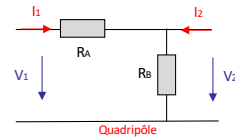
$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} \\ R_{21} & R_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

La formulation des différentes résistances et transrésistances reste très intuitive

$$R_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad R_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \quad R_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad R_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

20

Exemple

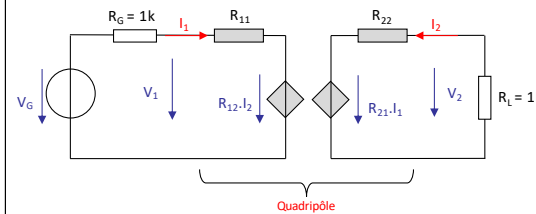


Mise en équation

$$\begin{aligned} V_1 &= R_{11} \cdot I_1 + R_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= R_{21} \cdot I_1 + R_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

Calcul des résistances et transrésistances

$$\begin{aligned} R_{11} &= \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0} = R_A + R_B = 3k\Omega, & R_{12} &= \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0} = R_B = 2k\Omega \\ R_{21} &= \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0} = R_B = 2k\Omega, & R_{22} &= \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0} = R_B = 2k\Omega \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} -(R_L + R_{22}) \cdot I_2 &= R_{21} \cdot I_1 \\ V_G - R_{12} \cdot I_2 &= V_G - R_{12} \cdot \frac{R_{21}}{-(R_L + R_{22})} I_1 = (R_G + R_{11}) \cdot I_1 \\ V_G &= (R_G + R_{11}) \cdot I_1 - R_{12} \cdot \frac{R_{21}}{(R_L + R_{22})} I_1 = \frac{8 \cdot 10^3}{3} \cdot I_1 \\ I_1 &= \frac{3}{8 \cdot 10^3} \cdot V_G = 0.375 \text{ mA et } V_1 = V_G - R_G \cdot I_1 = \mathbf{0.625V} \\ I_2 &= -\frac{R_{21}}{(R_L + R_{22})} I_1 = -0.25 \text{ mA et } V_2 = -R_L \cdot I_2 = \mathbf{0.25V} \end{aligned}$$

21

Pour illustrer le concept, on reprend le premier exemple. L'application numérique sera comparée aux autres développements.

On exploite le modèle défini par les équations suivantes :

$$\begin{aligned} V_1 &= R_{11} \cdot I_1 + R_{12} \cdot I_2 \\ V_2 &= R_{21} \cdot I_1 + R_{22} \cdot I_2 \end{aligned}$$

Les développements donnent encore une fois les résultats prévus, à la fois pour $V_2 = V_{\text{OUT}}$ et $V_1 = V_{\text{IN}}$