

Chapitre II :

Macromodélisation d'un Pont de Résistances

II.1 Introduction

La validation d'un système électronique, qu'il soit intégré sur une puce ou réalisé sous forme de cartes, est encore essentiellement basée sur des logiciels de simulation. Ceux-ci font appel à des modèles des différents éléments utilisés, qui en décrivent le comportement, c'est à dire les relations entre les signaux présents sur les points d'entrée/sortie (E/S). Ainsi, lors de la conception de circuits intégrés tels qu'un amplificateur opérationnel, une porte logique, des modèles de composants (transistors, diodes, résistances, capacités,...) sont utilisés par un simulateur électrique, dit analogique (le programme PSpice est sans doute le plus connu). Ces modèles décrivent les relations macroscopiques entre tensions et courants des diverses bornes, sous forme d'équations différentielles. Il s'agit donc d'une représentation mathématique de phénomènes physiques auxquels obéissent les composants. Il existe deux approches permettant d'obtenir des modèles plus ou moins précis d'un composant ou d'une fonction électronique :

- ♦ L'approche physique consiste à utiliser les modèles créés par les concepteurs de circuit intégrés et de modifier uniquement les paramètres. Cette approche peut être définie à partir de paramètres électriques (calculés à partir de mesures statiques, dynamiques, fréquentielles) ou à partir de paramètres technologiques caractéristiques du processus de fabrication et de la géométrie du composant.

- ♦ L'approche comportementale consiste à modéliser un composant ou un circuit par l'évolution de ses entrées/sorties en réponse à différents stimuli [15].

II.2 Modèles et primitives

II.2.1 Le modèle :

Le modèle d'un système est une représentation de son comportement à l'aide de laquelle le simulateur comprend et procède à des calculs. Un modèle doit être le plus fidèle et le plus exact possible, c'est le plus important critère de la modélisation. Mais écrire un modèle exact est la tâche la plus difficile.

II.2 .2 Les primitives

Tous les simulateurs analogiques proposent aux utilisateurs un jeu de composants de base permettant de décrire la topologie d'un circuit électrique. Ces éléments de base sont appelés les primitives du simulateur. Ces composants sont, entre autre, les éléments actifs diodes, les transistors (bipolaire, MOS, JFET), les éléments passifs comme les résistances, les capacités, les inductances et les sources de courant et de tension (Gvalue, Evalue...etc). Ce sont des éléments idéaux qui permettent d'exprimer facilement des relations mathématiques entre tensions et courants dans le domaine fréquentiel ou temporel.

Cependant, chaque simulateur possède sa propre syntaxe, ce qui freine l'utilisation de ces fonctions si le but est l'échange des macro-modèles [16].

II.3 Techniques de modélisation

Nous pouvons distinguer principalement trois techniques de modélisation qui sont :

- Modélisation structurelle
- Modélisation comportementale
- Macromodélisation

On intéresser beaucoup plus à la macromodélisation.

II.3.1 La macromodélisation

a. Définition

Le terme de macromodélisation est couramment employé en analogique. Il désigne en fait une méthode particulière de modélisation comportementale qui consiste en une simplification du schéma et, essentiellement, en l'utilisation de sources idéales contrôlées, proposées par les simulateurs de type SPICE, pour exprimer des relations entre tensions et courants. Cette approche est cependant assez limitée aux primitives du simulateur, introduit des effets parasites et peut poser des difficultés de convergence [17].

Un macro-modèle est une représentation simplifiée, mais précise, d'un circuit ou d'un système à un niveau d'abstraction donné. Il est usuellement basé sur la topologie ou la structure du circuit original, mais comporte beaucoup moins de composants car il modélise principalement les caractéristiques vues de l'extérieur du circuit.

b. Objectif de la Macromodélisation

La macromodélisation consiste à décrire le comportement d'un circuit par l'utilisation des primitives d'un simulateur. Le but essentiel de la macromodélisation est de réduire la taille du circuit et ainsi réduire le temps de simulation. En outre, il faut prendre garde à ce que le nombre de nœuds imposé par le macro-modèle ne dépasse pas celui qu'impose le circuit à modéliser, sinon il n'aura aucun profit sur l'encombrement et la taille des matrices générées. Alors, les modèles obtenus par cette approche permettent de réduire considérablement le temps de simulations [18].

De plus, l'objectif principal de la macromodélisation est de remplacer un système électronique ou une partie de ce système (une fonction ou un dispositif actif) par un modèle afin de réduire significativement le temps requis par les nombreuses simulations électriques effectuées en phase de conception. Pour ce faire, un macro-modèle doit répondre à deux exigences conflictuelles: il doit être structurellement le plus simple possible et en même temps simuler le comportement du circuit avec le maximum de précision.

Les macro-modèles sont construits à partir d'un nombre réduit de composants idéaux. Les composants utilisés sont des composants primitifs de *PSPICE*. Nous pouvons inclure des éléments passifs (résistance, capacité, etc.), des sources dépendantes et indépendantes, et des modèles non linéaires comme les diodes, les transistors bipolaires et les transistors qui sont intégrés dans le module ABM (Analog Behavioral Modeling) du logiciel PSPICE [16].

La méthode de macromodélisation consiste à utiliser trois blocs de base composés comme illustre la figure II.1 :

1. Un étage d'entrée pour implanter l'impédance d'entrée,
2. Un étage correspondant à la fonction principale (fonction de transfert du circuit),
3. Un étage de sortie pour implanter l'impédance de sortie.

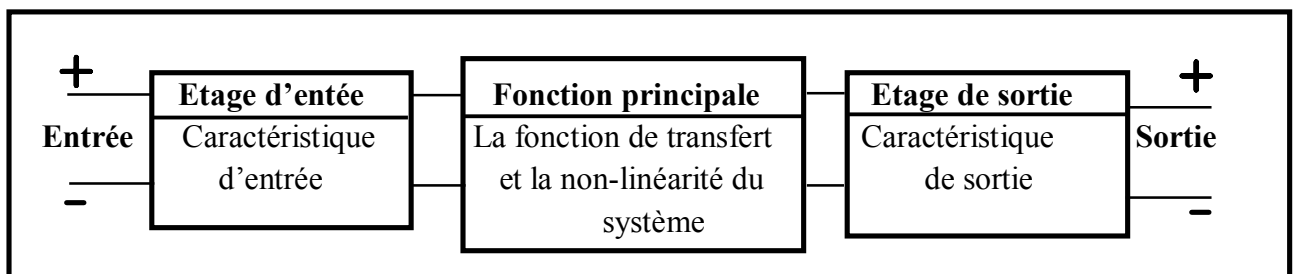


Figure II.1 : Méthodologie de base de la macro-modélisation

Les sources contrôlées (sources dépendantes) sont des éléments idéaux qui permettent d'exprimer des relations mathématiques entre les courants et les tensions. Il est possible de définir grâce à l'outil ABM de nombreuses équations non linéaires pour un courant ou une tension à partir de deux primitives : EVALUE (Source de tension contrôlée) et GVALUE (Source de courant contrôlée), sous la forme suivante [18]:

$$1/ \text{Ename } N+ \text{ } N- \text{ VALUE} = \{\text{control expression}\}$$

$$2/ \text{Gname } N+ \text{ } N- \text{ VALUE} = \{\text{control expression}\}$$

Les composants comportementaux utilisés dans notre travail sont les primitives *EVALUE*, qui sont des sources de tension contrôlées disponibles dans la bibliothèque (*ABM*) du simulateur *PSPICE*. Tenant compte de l'expression analytique de la résistance, le modèle sera représenté par un agencement de nombres primitifs *EVALUE* associés pour délivrer en sortie une tension qui modélise une résistance linéaire, un demi-pont et un pont de résistances [19].

II.4 Modélisation d'une résistance :

Le macro-modèle représentatif d'une résistance est une source V_1 qui délivre une tension V_2 insérée dans le modèle sert à calculer le courant I qui traverse la résistance. Ce macro-modèle est schématisé par le montage fonctionnel représenté dans la figure ci-dessous [20]:

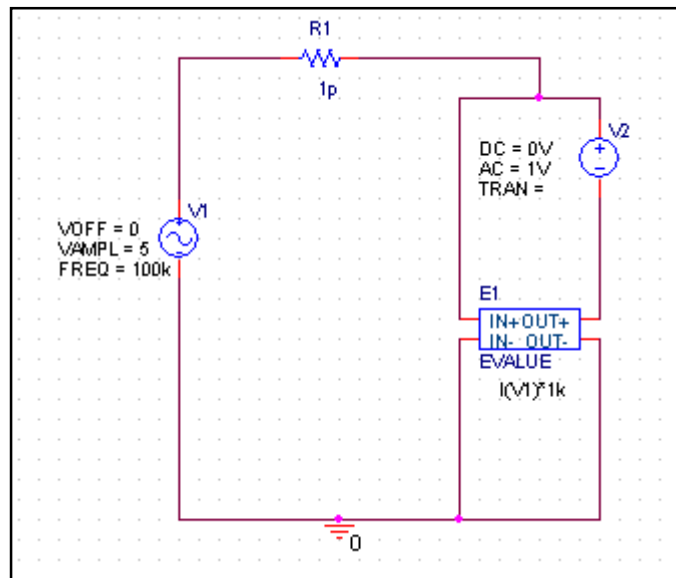


Figure II.2 : Schéma de montage d'un macro-modèle d'une résistance

Tenant compte de l'expression $V = R \cdot I$, le modèle de base sera représenté par la source "EVALUE" pour délivrer en sortie une tension qui modélise la résistance.

Le macro-modèle représentatif de la résistance est illustré dans la figure II.4 (page suivante). Nous constatons à travers les courbes de ce macro-modèle, que la résistance $R = V(E_I) / I(V_I)$ représente effectivement une résistance égale à $1k\Omega$.

II.5 Modélisation d'un demi-pont

Etant donné qu'un pont de mesure est constitué de branches en dérivation qui peuvent contenir des éléments en série, en parallèle ou les deux ensembles. Par conséquent, il est utile d'identifier l'agencement de deux primitives pour représenter deux résistances en série. Il s'agit en fait, de préparer un demi-pont sous un macro-modèle (Fig. II.3).

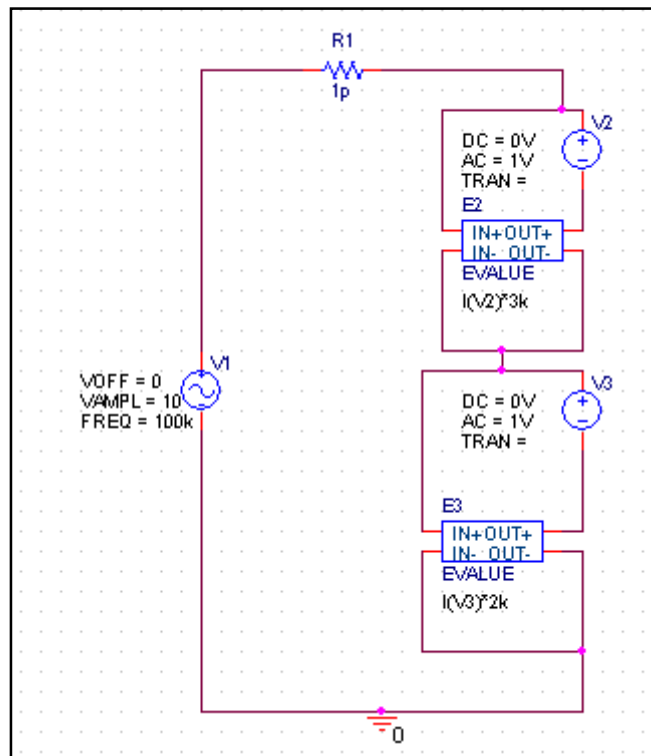


Figure II.3: Schéma du montage d'un macro-modèle "demi-pont"

On constate d'après la courbe du macro-modèle simulé (Fig. II.5), que la résistance du demi-pont est la somme de deux résistances en série qui le constituent, et égale à $5k\Omega$.

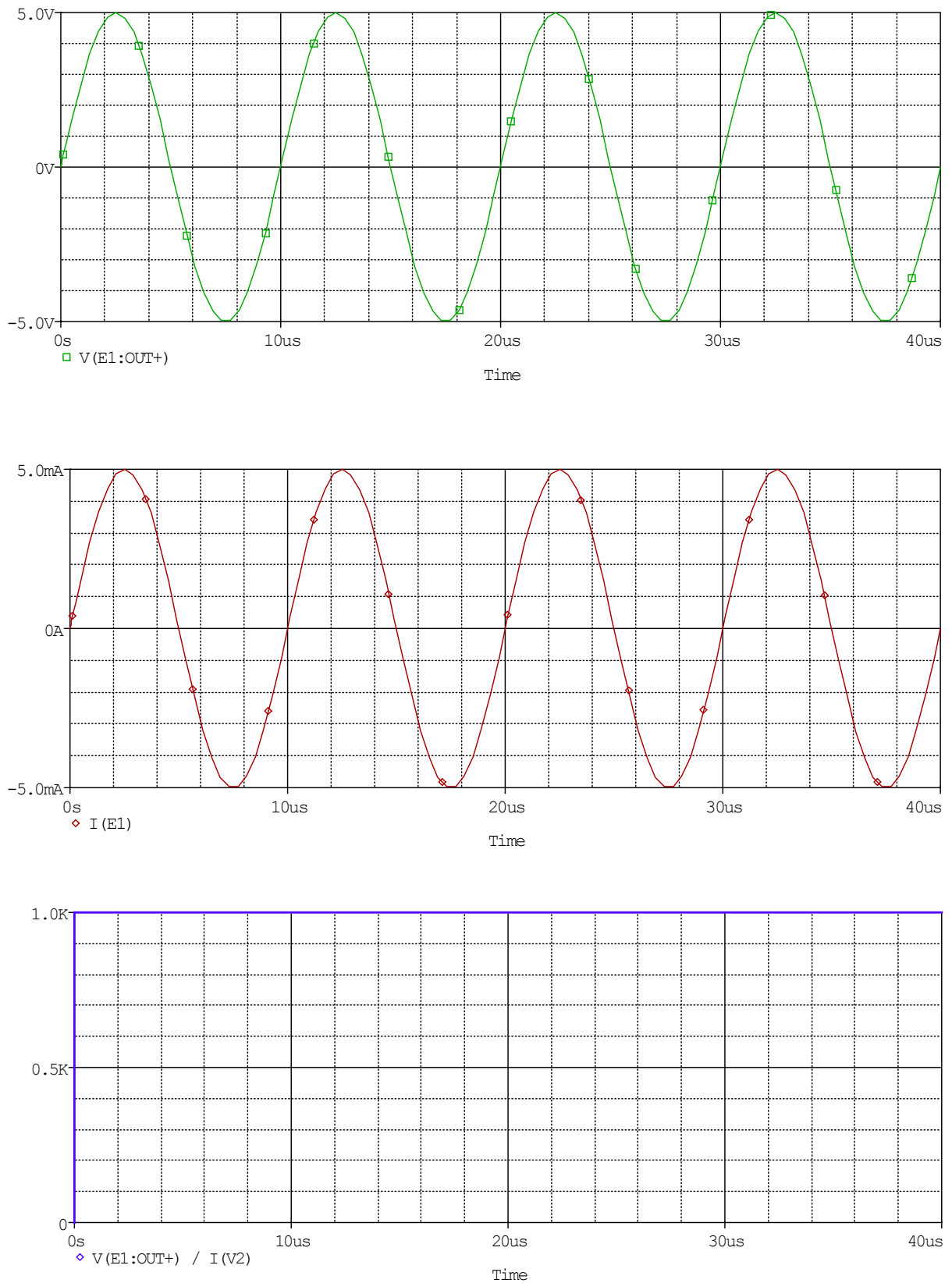


Figure II.4 : Courbes représentatives de la tension V_1 (a), du courant I (b) et de la résistance (c)

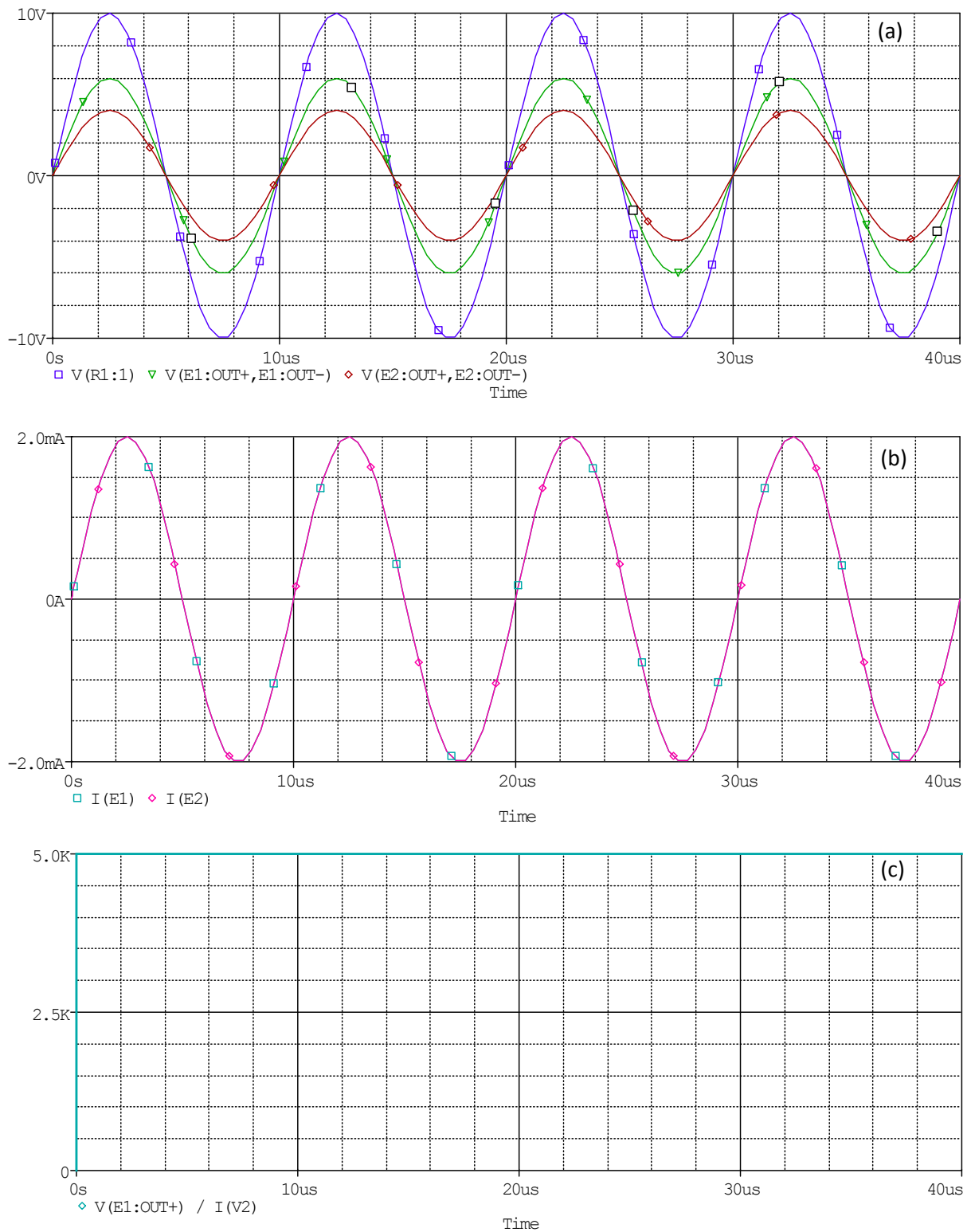


Figure II.5 : Courbes représentatives de la tension V_1 (a), du courant I (b) et de la résistance équivalente du demi-pont (c)

II.6 Modélisation d'un pont

Le macro-modèle représentatif du pont est constitué de quatre (04) modèles de résistances montées en pont et d'une source V_1 qui délivre une tension (Fig. II.6)

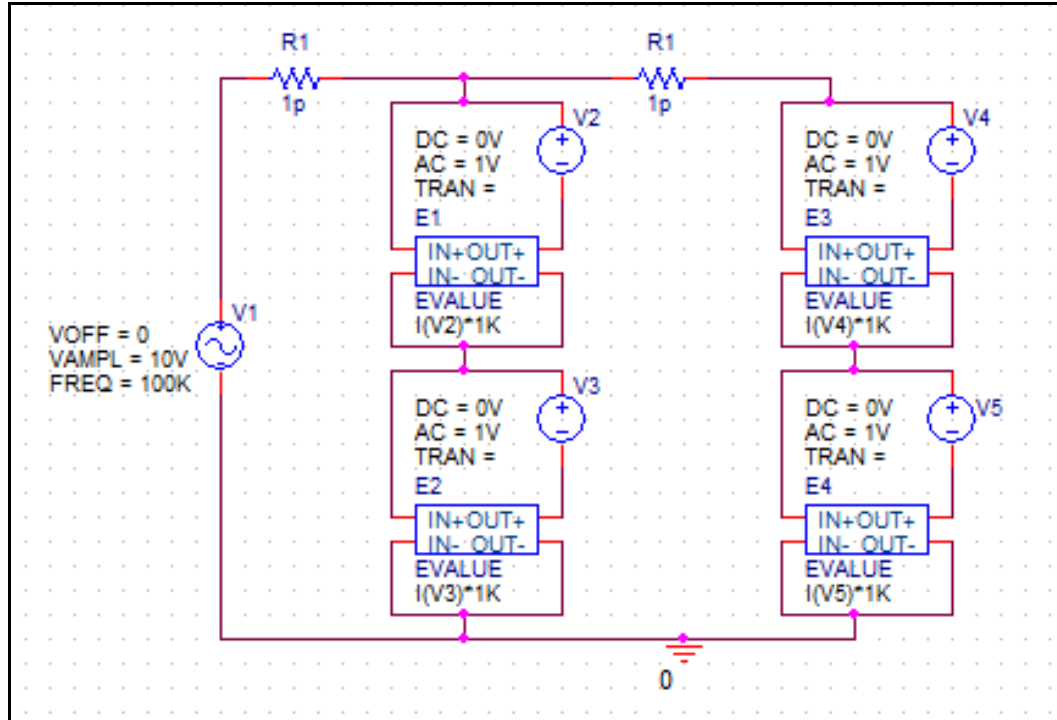


Figure II.6 : Schéma du montage du macro-modèle "pont de résistances"

Lorsque toutes les résistances sont égales ($1\ k\Omega$), on remarque que la tension de sortie (V_s) est nulle (figure suivante).

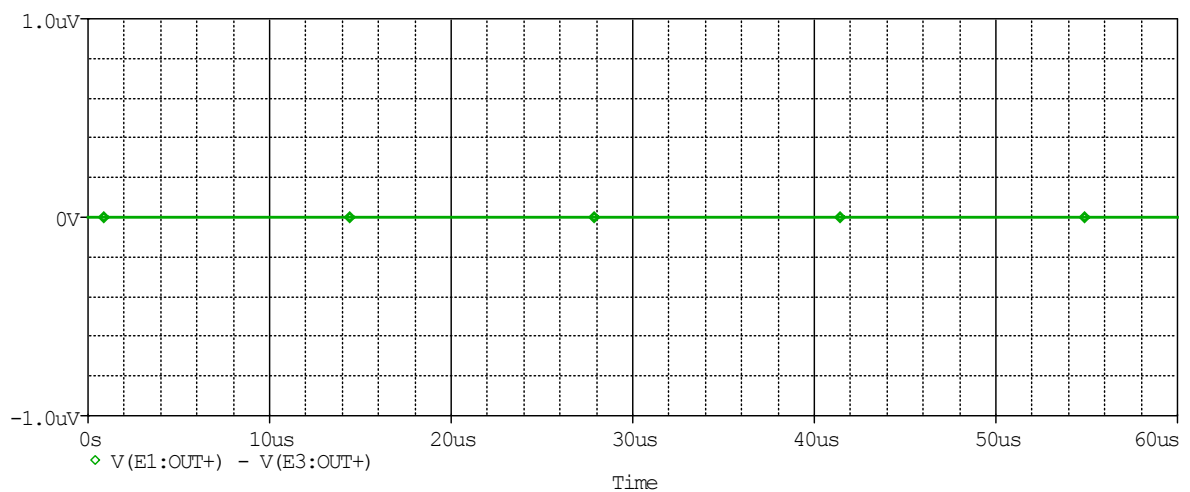


Figure II.7 : Courbe représentative de la tension de sortie d'un pont équilibré

Cette tension de sortie confirme le formalisme d'un pont équilibré (Fig. II.8).

$$V_s = \frac{R_1 - R_4}{R_1 + R_4} V_e, \quad \text{pour : } R_1 = R_3 \text{ et } R_2 = R_4$$

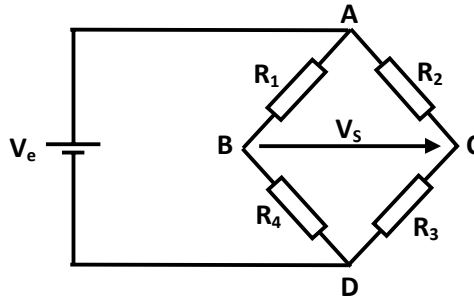


Figure II.8 : Montage représentatif d'un pont à 4 résistances

II.7 Avantage et inconvénient

L'avantage majeur de la macromodélisation, c'est qu'elle ne nécessite pas l'apprentissage d'un langage de programmation, mais une bonne connaissance d'un simulateur analogique. Avec la macromodélisation, nous pouvons alors réaliser un grand nombre de fonctions : fonctions mathématiques, filtres, détecteurs de phase, modulateurs d'amplitude et de largeurs d'impulsions, oscillateurs, convertisseurs, comparateurs, amplificateurs et boucles à verrouillage de phase. Cependant, malgré les avantages et la simplicité apparente, la macromodélisation pose un certain nombre de limitations [14] :

- ☒ La non-linéarité des composants et de la tension de décalage ;
- ☒ Problème de convergence qui est dû à la discontinuité ;
- ☒ La limitation des circuits analogiques.

II.8 Conclusion

Dans ce présent chapitre, nous avons met en œuvre la méthode de la macromodélisation comportementale d'un pont de résistances qui est la base de la suite de notre travail.