

Vidéomodèles - Le fonctionnement des circuits électriques ou électroniques enfin rendu visible

Dr Ir F. Gueuning
ECAM – Bruxelles

Les "vidéomodèles" sont des animations 3D montrant l'évolution des tensions et courants de façon quantitative et très visuelle grâce à une représentation élaborée des composants obtenue par images de synthèse. Ils constituent en quelque sorte le cinéma des circuits dont les acteurs sont les composants qui interagissent entre eux. Développés à l'ECAM, ils y illustrent déjà plusieurs cours avec succès et semblent promis à un bel avenir. On présente ici les fondements de la méthode que l'on applique ensuite à différents circuits électriques et électroniques.

Mots-clefs : vidéomodèle, animation 3D, circuit électronique, modèle 3D

The "videomodels" are 3D animations showing the evolution of voltages and currents in a quantitative and very visual way thanks to an elaborate representation of the components obtained by synthesized images. They constitute in some kinds the movie of the circuits where actors are the components which interact between them. Developed in ECAM, they illustrate already several courses successfully and seem promised with a beautiful future. The bases of the method are presented and then applied to various electric and electronic circuits.

Keywords : videomodel, 3D-animation, electronic circuit, 3D-modelling

1. Introduction

Une grande difficulté rencontrée lors de l'étude de l'électricité réside dans l'absence de vision du fonctionnement des circuits. Pour pallier ce problème, on s'est fixé pour objectif de mettre au point une représentation de circuits en fonctionnement directement assimilable par notre cerveau si performant dans l'analyse d'images 3D dynamiques auxquelles il est habitué depuis la plus tendre enfance. La représentation proposée permet d'augmenter très sensiblement la rapidité de compréhension et de vision d'ensemble qui faisait cruellement défaut jusqu'à présent dans le monde de l'électricité et de l'électronique en particulier. Cette représentation conviviale est rigoureuse et quantitative, ce qui lui permet de convenir à la fois pour le débutant et pour le spécialiste, chacun pouvant y découvrir ce qui l'intéresse.

En effet, outre la vision du fonctionnement de l'ensemble, qui convient plutôt dans une première approche, on peut se focaliser dans un second temps sur les détails qui sont également présents dans le même *vidéomodèle*. On a baptisé de ce nom ce type d'animation [1] qui permet enfin de voir un circuit en pleine action (video: je vois) mais que l'on ne s'y trompe pas, ce que l'on voit n'est qu'une représentation, un modèle où la troisième dimension joue un rôle particulier encore méconnu de la plupart des électriciens.

2. Règles générales

Voyons tout d'abord quelles sont les grandeurs électriques qui seront représentées et comment.

2.1 Représentation de deux grandeurs électriques

L'idée de base est de représenter au moins deux grandeurs électriques de natures différentes directement à l'emplacement du circuit où elles interviennent (deux car le comportement est lié aux interactions de deux grandeurs). Il s'agit d'en prendre une parmi tension, potentiel et champ électrique, et l'autre parmi charge, courant et champ magnétique, ou encore de prendre impédance et puissance. Comme chaque composant d'un circuit exprime ses exigences le plus simplement en termes de tensions et courants, on a décidé de se focaliser sur ces deux grandeurs. Toutefois, plutôt que les tensions au bornes, on a choisi, comme d'autres [2], [3], [4], de représenter

le potentiel en chaque nœud du circuit, et ce à chaque instant, donc en fonction du temps.

2.1.1. Potentiel et plan de masse

Le potentiel en chaque nœud du circuit est représenté par la troisième dimension d'un espace tridimensionnel (les deux premières constituant le dessin classique du circuit). Lorsque le circuit évolue en fonction du temps, le potentiel de chaque nœud peut varier et déplacer en conséquence la coordonnée Z correspondante [1], [2], [3], [4].

Afin de disposer d'un plan de repère dans cette représentation à trois dimensions, le circuit apparaît en filigrane à deux dimensions dans le plan horizontal de masse (donc à 0 volt).

2.1.2. Courant

Pour représenter le courant en sens et amplitude, différentes méthodes ont été utilisées sans être vraiment convaincantes [2], [4]. Pour les vidéo-modèles [1], on a imaginé de le représenter par un cône entourant le conducteur, d'amplitude et longueur fonction de l'intensité et de sens correspondant au sens conventionnel à chaque instant. L'amplitude du cône est proportionnelle soit au courant I , soit à $I^{0.4}$ lorsque les courants sont fort différents d'une branche à l'autre, comme dans les circuits électroniques. De couleur jaune, le cône possède également une bague bleue à l'avant pour que le sens reste visible même pour des courants faibles. De plus (fig. 1), lorsque la valeur absolue du courant instantané est en augmentation, ce cône est gonflé à la façon d'une ogive (convexe) tandis que si la valeur est en diminution, le cône prend plutôt la forme d'un pavillon de trompette (concave). Ceci permet, lorsque l'on s'intéresse aux détails, de voir si le courant est en augmentation ou en diminution, y compris lors d'un arrêt sur image. Dans une bobine, par exemple, l'interaction entre variation du courant et tension induite est ainsi mieux perçue.

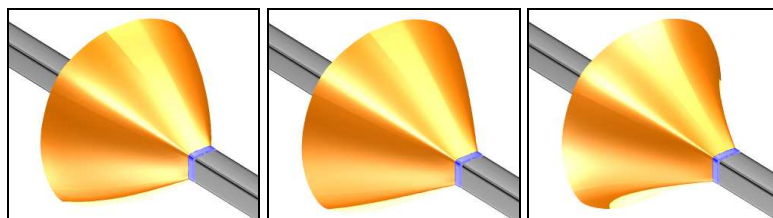


Figure 1 : Courants croissant, constant et décroissant

Pour ne pas encombrer inutilement le dessin, le courant n'est représenté que là où on le souhaite. Ce choix est opéré avant la fabrication du vidéomodèle.

2.2 Représentation des conducteurs

Les conducteurs, électriquement parfaits, apparaissent horizontaux. Contrairement à [2], [3], [4] où conducteurs et composants sont dessinés par de simples lignes, les conducteurs ont ici une section à peu près carrée pour renforcer la perception des plans équipotentiels. De cette manière, le regard prolonge leur face horizontale pour imaginer le plan équipotentiel. De plus, leur section est légèrement arrondie, ce qui permet d'obtenir directement un aspect de grande qualité lors du calcul des images de synthèse.

Par défaut, les conducteurs sont de couleur grise mais on utilise parfois d'autres couleurs en rapport avec celles des câbles usuels.

2.3 Symboles 3D des composants

Contrairement aux dessins par lignes rencontrés ailleurs, on utilise ici un graphisme sophistiqué afin qu'il convienne même pour des circuits comportant jusqu'à plusieurs dizaines de composants. Il faut donc que, même dessinés avec un nombre réduit de pixels, les symboles et leur position dans l'espace soient aisément reconnus. Chaque composant est d'épaisseur limitée et apparaît assez plat lorsqu'il n'est soumis à aucune tension. De plus, sa forme 3D est judicieusement étudiée avec arrondis pour que les jeux de lumière calculés lors de la réalisation des images de synthèse le rendent identifiable au premier regard. Sa couleur aussi lui est spécifique.

2.3.1. Dimensions XY des symboles

Pour représenter les composants, faut-il faire intervenir leur taille réelle ou encore la valeur de leur paramètre principal? Même si pour les premiers pas d'un débutant il peut être intéressant que le dessin rende compte de la valeur d'un élément (ex: résistance), plusieurs raisons amènent à penser qu'une taille standard est préférable:

- Les symboles traditionnels de composants ne comportent pas d'information dimensionnelle. Il vaut mieux que dès le départ, le débutant s'habitue à cela et puisse directement établir un lien entre le schéma traditionnel et le vidéomodèle.
- Le repérage de la position dans un espace 3D est plus aisé si la taille de l'élément est simplement liée à son éloignement.

- Dans un circuit complexe, l'usage de symboles de tailles différentes risque de nuire à la lisibilité. Toutefois, cette hypothèse n'a pas été testée et il n'est pas impossible que l'on constate dans le futur que des tailles différentes s'avèrent intéressantes dans certains cas.

2.3.2. Déformation subie par les composants lorsque les potentiels évoluent

On constate que traditionnellement dans un schéma, chaque composant est représenté par un symbole sans rapport avec sa constitution géométrique réelle. Seules les bornes d'accès sont parfaitement définies électriquement. On ne s'intéresse pas à ce qui se passe à l'intérieur des composants, en particulier à la façon dont le potentiel s'y répartit. Dans [1], [2], [3], [4], lorsqu'il existe une tension non nulle entre deux bornes d'un composant, leur coordonnée V (3e dimension) est différente et il convient de passer progressivement de l'une à l'autre. Dans la plupart des cas, il a été décidé d'adopter simplement une progression linéaire qui ne comporte aucune signification particulière.

3. Représentation de quelques composants

La création de symboles 3D de composants n'est pas un travail trivial. Pour que les vidéomodèles ne se démodent pas, il faut les réaliser avec des symboles bien pensés dès le départ. Ceux-ci doivent être simples et généralistes pour convenir dans des circuits très divers, mais également être expressifs pour permettre au composant de dévoiler son rôle précis dans chaque situation. Le symbole doit être utilisable tant pour rendre le fonctionnement d'ensemble que celui du détail. Pour être immédiatement reconnu, il doit rappeler le symbole 2D conventionnel. Il est également important qu'il mette en évidence les tensions entre bornes du composant.

3.1 Symbole de la résistance

On sait que la résistance se caractérise par l'équation $V = R.I$ où la valeur de R est constante si l'élément est linéaire. Le symbole traditionnel est un zigzag [2], [3] ou un rectangle [4]. On a estimé [1] qu'un symbole simple suffisait pour cet élément si simple. On a donc adopté un parallélépipède rectangle dans le cas d'une tension nulle. Celui-ci voit la composante V de chacun de ses points se modifier d'image en image au gré de l'évolution des potentiels. Comme dit plus haut, seules les bornes ont leur composante V

significative. La figure 2 représente une résistance connectée soumise à une tension. On aperçoit également la projection de ce fragment de circuit en "filigrane" sur le plan de masse, ce qui permet de déduire qu'une borne de la résistance est à la masse tandis que l'autre est à un potentiel positif.

On a choisi la couleur verte pour la résistance. Le même symbole est utilisé pour une impédance ou une charge quelconque. C'est alors plutôt la couleur qui permet d'indiquer la nature résistive, capacitive, inductive (ou autre) de la charge.

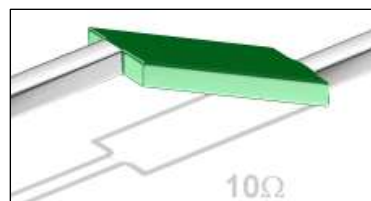


Figure 2 : Symbole d'une résistance sous tension

3.2 Symbole de la capacité ou du condensateur

La capacité se caractérise par l'équation

$$I = C.dV/dt$$

où C est constante si l'élément est linéaire. Le symbole adopté (fig. 3) est constitué de deux barres horizontales parallèles de couleur vert-bleu jointes par un faisceau de lignes droites discontinues parallèles dites lignes de champ électrique.

Ces lignes de champ ne sont que symboliques. Le même symbole pouvant représenter n'importe quel condensateur, qu'il se réduise à une capacité pure ou soit un composant réel, quelles que soient ses dimensions, il ne faut voir dans la pente des lignes de champ qu'une information qualitative qui ne rend pas compte du champ électrique réel présent dans le composant.

3.3 Symbole de l'inductance ou de la bobine

L'inductance répond à l'équation $V = L.dI/dt$ où L est constante dans le cas linéaire. Pour l'inductance pure de la théorie des circuits comme pour la bobine réelle, le symbole adopté, de couleur cuivre, est donné à la figure 4.

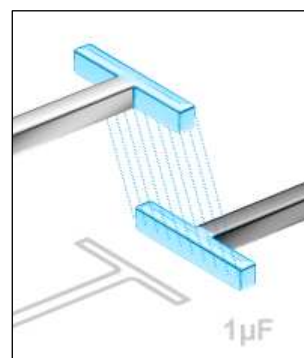


Figure 3 : Symbole d'un condensateur sous tension

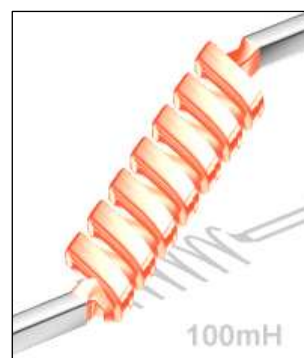
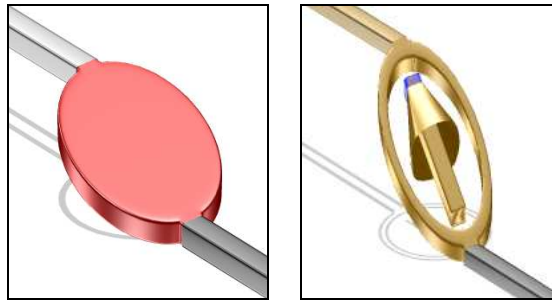


Figure 4 : Symbole d'une bobine sous tension

3.4 Symboles de la source de tension et de la source de courant

Le symbole général de la source de tension idéale (continue, alternative ou quelconque) est donné à la figure 5.a. Il s'agit d'un disque de couleur rouge sombre déformé linéairement entre ses deux bornes. La source de courant, de couleur dorée, apparaît à la figure 5.b. Elle est constituée d'une flèche de courant entourée d'une ellipse.



a. Source de tension b. Source de courant

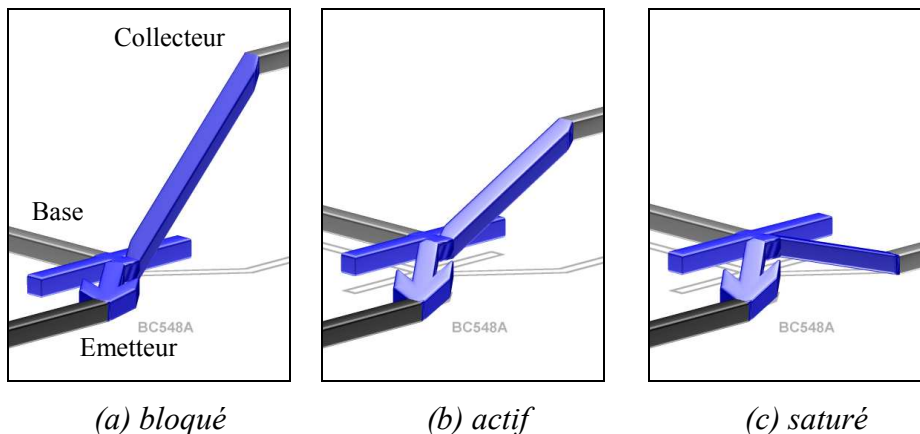
Figure 5 : Symboles d'éléments actifs

La flèche évolue de façon similaire aux cônes de courants décrits plus haut.

3.5 Symboles des transistors NPN et PNP

Pour respecter les objectifs mentionnés au point 3, la création du symbole du transistor bipolaire a demandé plusieurs mois pour aboutir. Puisqu'en électronique le rouge est la couleur du positif tandis que le bleu est la couleur du négatif, on propose, de manière générale, de représenter en bleu les composants où le courant d'électrons domine, et en rouge ceux où le courant de trous domine. On propose donc de représenter le transistor NPN en bleu et le transistor PNP en rouge.

Le symbole est composé (fig. 6 et 7), au potentiel de la base, d'un T à barre centrale presque inexistante d'où partent respectivement vers l'émetteur et le



(a) bloqué

(b) actif

(c) saturé

Figure 6 : Régimes du transistor bipolaire NPN

collecteur une flèche et une barre obliques. Le sens de la flèche indique, comme sur le symbole 2D universel, s'il s'agit d'un transistor NPN ou PNP. Puisque les tensions sont visibles en permanence, la représentation 3D permet de voir le régime du transistor, ce qui est très intéressant dans des circuits complexes. Notons que l'idée d'allonger les bras du transistor en fonction de la tension est déjà présente dans [2] mais on s'y contente de simples lignes pour la représentation.

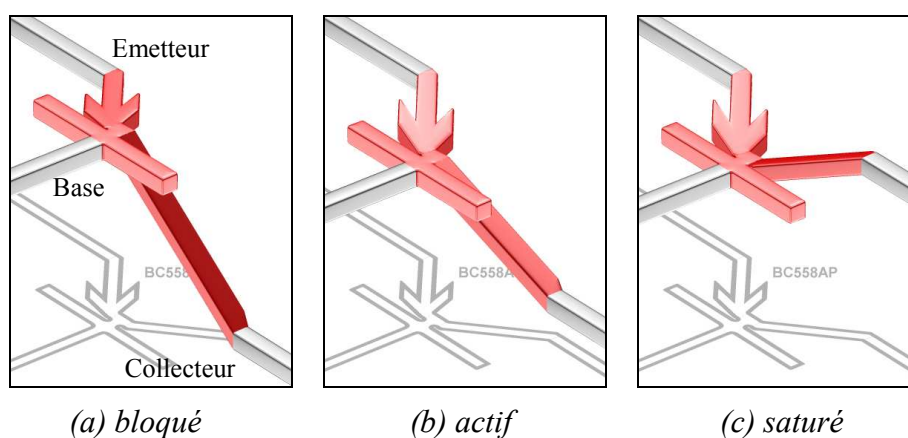


Figure 7 : Régimes du transistor bipolaire PNP

Sur les figures 6.a et 7.a, le régime bloqué se déduit de ce que la tension émetteur-base est trop faible pour rendre la jonction passante. Lorsque cette tension devient suffisante, et bien sûr de sens adéquat, le transistor passe en régime actif (fig. 6.b et 7.b). Plus le transistor est passant et plus sa tension collecteur-émetteur tend à diminuer (en valeur absolue). Lorsqu'elle devient proche du court-circuit, le transistor est saturé (fig. 6.c et 7.c).

3.6 Symbole de la diode

La diode est représentée à l'aide du symbole de la figure 8. On reconnaît la diode passante au fait que la flèche pointe vers le bas avec une tension suffisante qui devient alors peu dépendante du courant (circulant évidemment en sens passant).

Les coordonnées X et Y de chaque point du symbole restent toujours

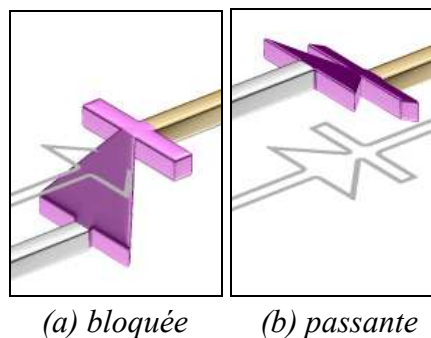


Figure 8 : Diode classique

constantes. En sens passant, la coordonnée Z évolue linéairement entre les deux bornes (où elle correspond quantitativement au potentiel). En sens bloquant, la barre de cathode est maintenue horizontale mais le triangle évolue linéairement jusqu'à elle.

Dans [3] où la diode est faite de simples lignes, lorsque la diode est bloquée, le triangle reste horizontal et se détache de la barre de cathode qui a son propre potentiel. L'avantage est de constater un circuit ouvert, l'inconvénient est qu'il est plus difficile d'identifier le composant dans un circuit complexe.

3.7 Symbole de l'amplificateur opérationnel

Le symbole de l'amplificateur opérationnel (Aop) est constitué de six zones plates : correspondant (fig.9)

- aux entrées inverseuse et non inverseuse
- à un triangle entre elles
- à la sortie
- aux deux bornes d'alimentation.

Ces dernières font mieux percevoir la saturation de l'Aop souvent oubliées par les débutants. Pour ne pas alourdir le dessin, il est fréquent qu'elles n'apparaissent pas (fig. 15).

Tant que la tension différentielle d'entrée est proche de 0V, les trois premières surfaces du symbole sont dans un même plan (fig.9 et 15 en bas). Ce n'est plus le cas si la tension différentielle devient plus importante, ce qui traduit un gain dégradé de l'Aop (fig. 15 en haut).

La zone de sortie est maintenue horizontale en permanence. Peut-être que dans le futur, on lui fera jouer un rôle (ex: indiquer la tension sur l'impédance interne de sortie de l'Aop).

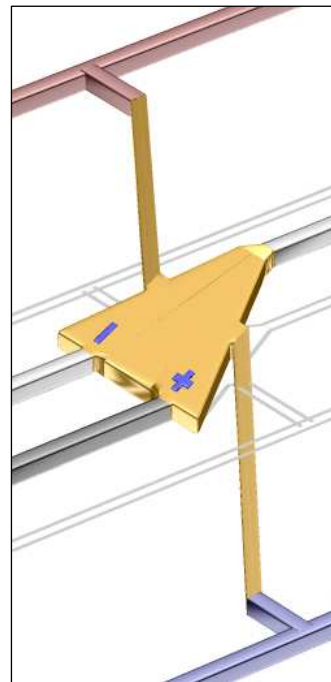


Figure 9 : Aop et ses connexions d'alimentations

4. Exemples de Circuits mieux perçus par vidéomodèles

4.1 Découverte d'un circuit résistif

La figure 10 montre deux vues extraites d'un vidéomodèle de 100 images prévu pour tourner en boucle (fichier au format standard AVI de Microsoft).

Le circuit représenté, comportant quatre résistances et une source de tension, est destiné à illustrer les lois de Kirchoff ainsi que la relation tension-courant dans les résistances linéaires.

Le dessin du haut de la figure correspond aux courbes de gauche où l'échantillon prélevé sur chaque signal apparaît au temps 7.2 ms. Les valeurs numériques correspondantes sont données à droites des courbes. Pour chaque signal, on donne la valeur de l'échantillon utilisée pour produire le dessin 3D ainsi que la valeur de crête (peak) et la valeur efficace. Ces deux dernières ont été calculées sur l'ensemble des points de la courbe et restent constantes d'une image à l'autre.

La partie de gauche de ce circuit (entre V_B et GND) peut modéliser une prise de courant domestique (230V 50Hz) et les résistances en parallèle sont deux charges de 60Ω et 180Ω .

La simple observation du vidéomodèle amène à (re)-découvrir les lois de base. On voit par exemple que tous les cônes de courant d'une même branche sont de même amplitude et de sens cohérent, ou encore que les tensions sont égales sur les deux résistances en parallèle. Le vidéomodèle de ce circuit est en général compréhensible par un débutant ignorant tout de l'électricité, bien qu'il s'agisse d'un circuit alternatif.

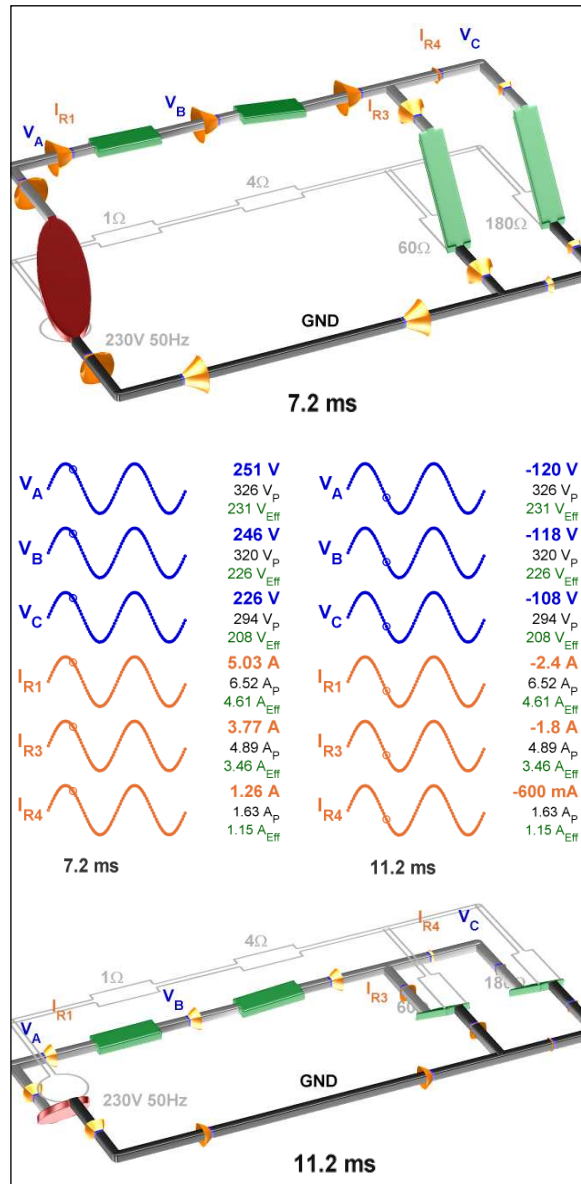


Figure 10 : Deux vues d'un circuit résistif

4.2 Analyse d'un circuit RLC série + mesure de puissance

La figure 11 est une vue extraite du vidéomodèle d'un circuit RLC série en régime sinusoïdal. On constate que le potentiel du point B est proche de 0V. En réalité, il le reste sur les images successives, ce qui correspond à un circuit excité pratiquement à sa fréquence de résonance où la mise en série de l'inductance et de la capacité apparaît comme un court-circuit (tension nulle aux bornes). Remarquons à la forme concave du cône de courant qu'il est en train de décroître, ce qui provoque la tension présente sur l'inductance.

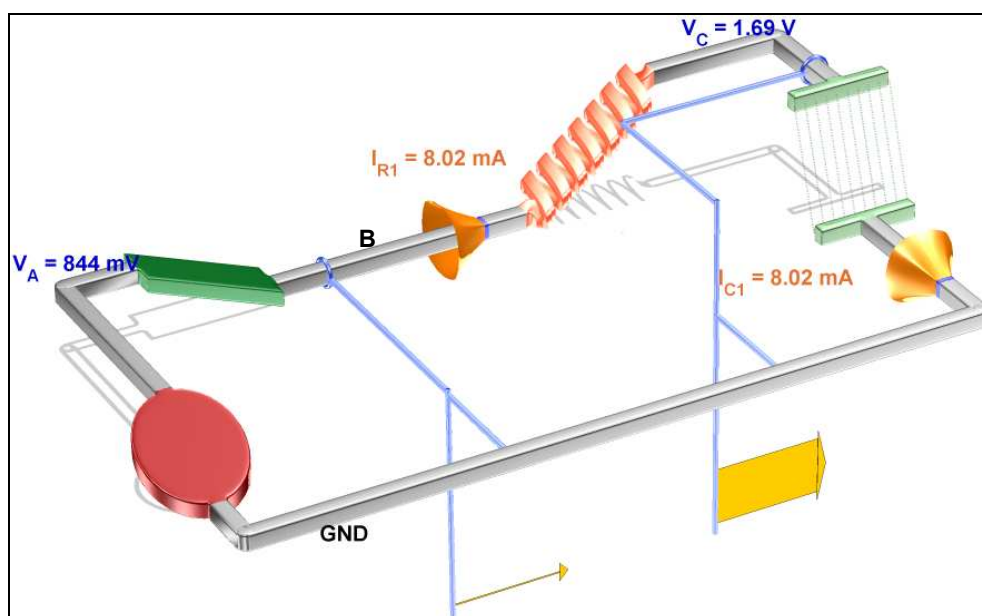


Figure 11 : Circuit RLC série à la résonance + puissance

Mesure de puissance

La figure 11 constitue également une tentative de représenter la puissance instantanée consommée par un dipôle. Les "sondes" de tension et courant sont connectées au circuit et le produit tension (vertical) courant (horizontal) donne le "rectangle" transformé en flèche dont la pointe indique le sens de transfert de la puissance instantanée. La flèche est jaune-beige pour un échange de gauche à droite (puissance positive) et bleue dans l'autre cas. Elle évolue et change de couleur en fonction du temps et de la nature du dipôle (résistif, capacitif, inductif). Notons qu'une représentation de la puissance échangée est également proposée dans [2].

4.3 Transistor PNP monté en émetteur commun

Le schéma de la figure 12 représente un amplificateur à un transistor PNP monté en émetteur commun. Le vidéomodèle correspondant, dont une vue est donnée à la figure 13, est montré au tout début du cours d'introduction à l'électronique en 2^e année à l'ECAM.

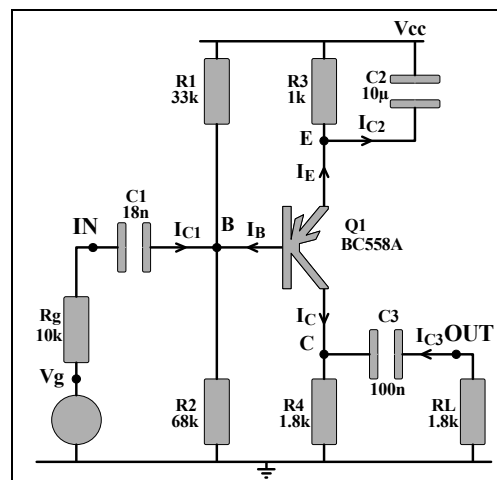


Figure 12 : Schéma traditionnel
(émetteur commun)

On commence par constater l'existence d'un dipôle de Thévenin (à gauche) produisant un faible signal sinusoïdal, et d'une charge (à droite) où le signal est déphasé et amplifié, le quadripôle central joue donc le rôle d'amplificateur mais on ignore à ce stade son mécanisme d'amplification. On observe également le rôle des condensateurs C1 et C3 aptes à transmettre les variations de potentiel tout en reprenant sur eux la tension continue, ainsi que le rôle de C2 qui neutralise les variations du potentiel V_E , ce qui fait de E une masse d'un point de vue variationnel. On constate également le rôle des résistances de polarisation destinées à suspendre le transistor quelque part entre les rails d'alimentation. On observe finalement le lien entre les courants I_B et I_C du transistor et donc son rôle de "vanne" commandée en courant. L'image comporte un zoom sur le transistor où l'on voit mieux les courants I_B et I_E . Compte tenu de leurs valeurs respectives de $18.2 \mu\text{A}$ et 3.33 mA , et afin que les cônes correspondants restent visibles, l'amplitude de ces derniers est proportionnelle à $I^{0.4}$ plutôt qu'à I , comme mentionné au point 2.1.2.

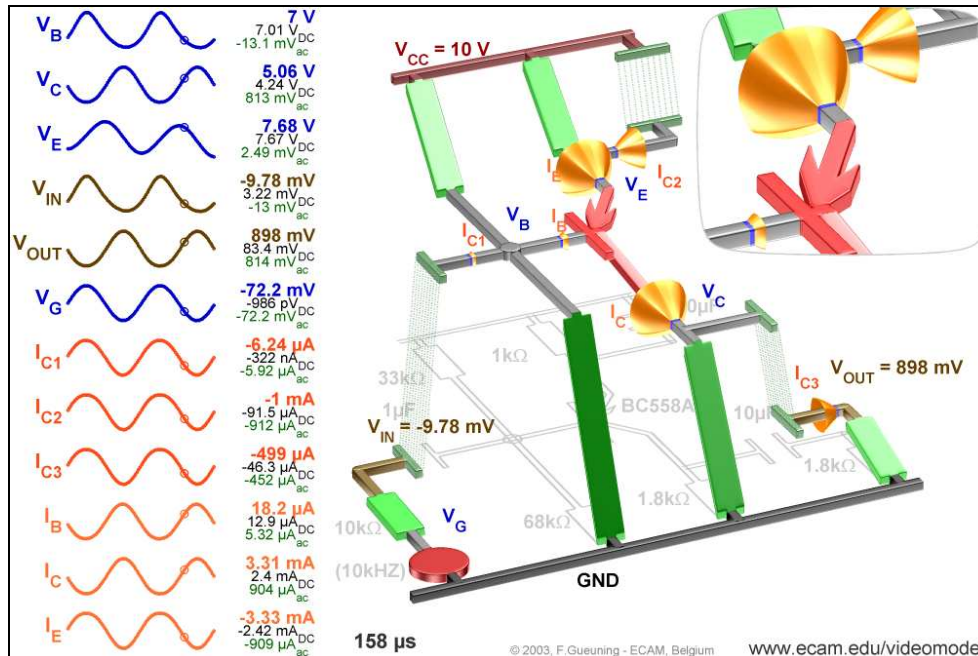


Figure 13 : Image 79 du vidéomodel qui en compte 100
(amplificateur à transistor PNP en émetteur commun)

Toutes ces observations effectuées dès le départ sur un même vidéomodel permettent de dégager les étapes de l'étude d'un tel circuit : lois de base de l'électricité, comportement du transistor, point de fonctionnement, petits signaux, performances globales.

Par la suite, on peut comparer différentes variantes du circuit dont les vidéomodèles ont été réalisés.

Notons (fig. 12) que, les résistances, pourtant de couleur identique a priori, ne présentent pas la même luminosité à cause des réflexions spéculaires de l'éclairage virtuel sur les surfaces des symboles. Cette différence un peu gênante est accrue par le contraste important utilisé pour l'impression en noir et blanc. Sur des images en couleur, le contraste peut être moins marqué et surtout, la couleur permet d'identifier immédiatement les composants.

4.4 Redresseur à amplificateur opérationnel

Ce circuit permet de montrer l'Aop en comportement linéaire (rétroaction négative) ou saturé ainsi que les phénomènes survenant lors du passage de

l'un à l'autre. On donne son schéma (fig.14) et deux vues extraites du vidéomodèle correspondant (fig.15).

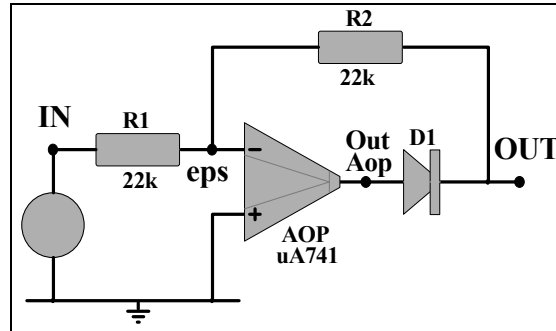


Figure 14 : Redresseur à amplificateur opérationnel

- *Comportement linéaire*

Si la diode est passante (fig.15 en bas), le courant peut circuler entre la sortie de l'Aop et la source de tension, ce qui provoque des chutes de tension dans la diode et dans le diviseur résistif. L'Aop ajuste sa sortie pour que sa tension différentielle d'entrée soit nulle, ce qui conduit, dans le cas présent où les deux résistances sont identiques, à $V_{OUT} = -V_{IN}$.

- *Disparition de la boucle de rétroaction*

Si la tension d'entrée devient positive, la tension de sortie de l'Aop tend à s'inverser, ce qui bloque la diode et annule le courant et donc les chutes de tension sur les résistances. $V_{OUT} = +V_{IN}$ et l'Aop part en saturation.

- *De la saturation au mode linéaire*

Sur la figure 15 en haut, V_{IN} est déjà redevenue négative, l'amplificateur revient de la saturation négative, ce qui lui prend un certain temps durant lequel la diode est encore bloquée, les chutes de tension sur les résistances sont donc nulles et, encore pendant un court instant, $V_{out} = +V_{IN}$ comme durant toute la phase de saturation. Notons que la simulation tient compte de capacités parasites : on voit qu'à cet instant :

$$V_{IN} = -375\text{mV} \text{ et } V_{OUT} = -348\text{mV}$$

Tous ces phénomènes sont bien plus simples à assimiler si on les voit se dérouler dans le vidéomodèle que si on ne dispose pas d'outil de visualisation dynamique, comme c'est malheureusement le cas dans le présent texte.

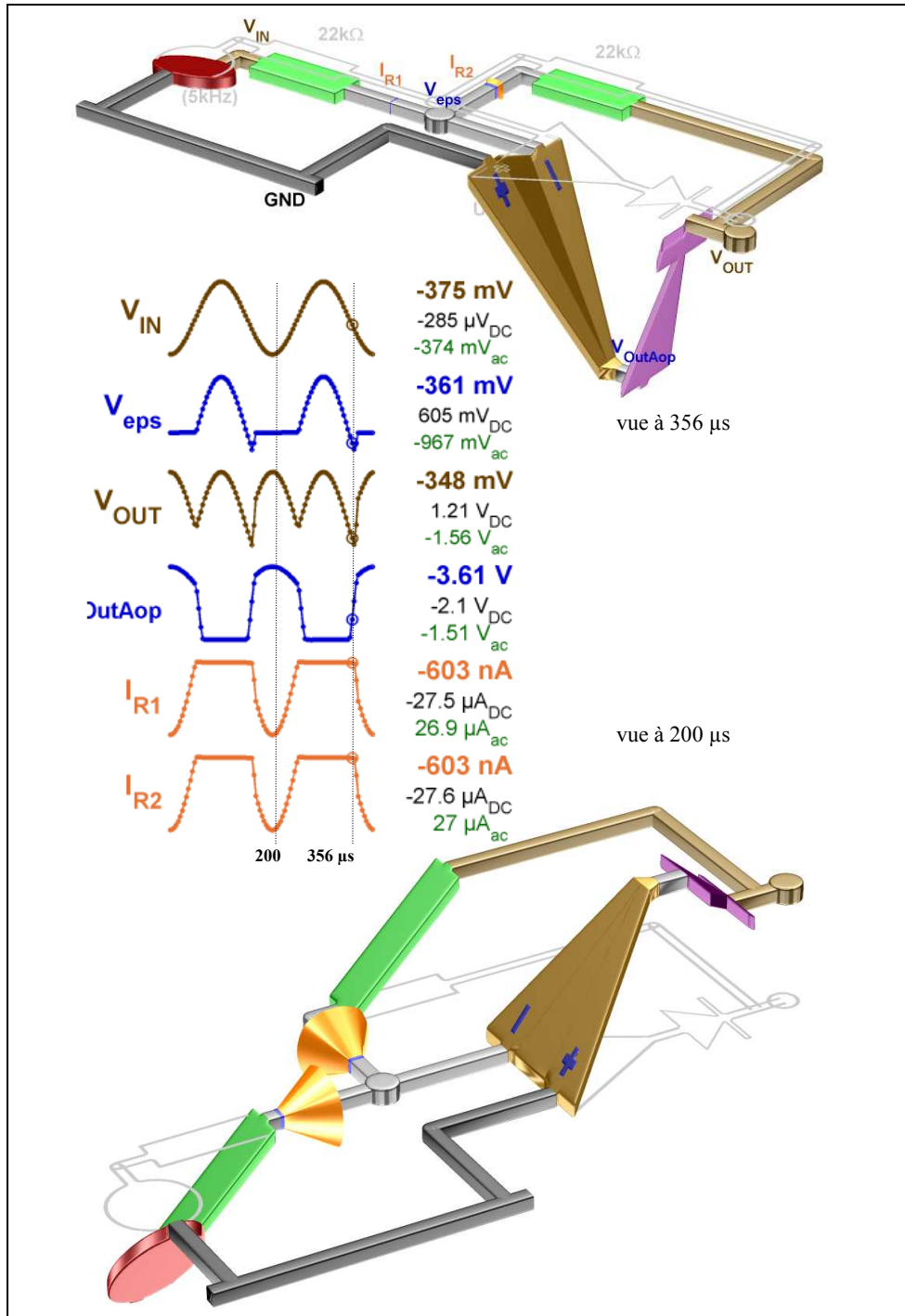


Figure 15 : Extraits du vidéomodèle du redresseur à Aop

4.5 Étude d'un circuit intégré

La figure 16 représente un amplificateur intégré monté dans un circuit amplificateur non inverseur. Aux 20 transistors et 10 résistances du circuit intégré s'ajoutent 3 résistances externes et une source de tension appliquée à l'entrée du montage. On a ainsi représenté 34 composants, 24 nœuds de tension et 8 courants. L'animation met en évidence les potentiels atteints par chaque nœud du circuit à chaque instant, ce qui permet de prendre conscience plus naturellement de la façon dont les transistors se répartissent en différents étages et donc de la façon séquentielle de déduire le fonctionnement du circuit. Néanmoins, ce dernier, dans lequel existe une boucle de rétroaction, est trop compliqué pour qu'un non initié puisse en déduire le fonctionnement sur simple observation du vidéomodèle. Il reste indispensable de disposer d'explications complémentaires. Par contre, ces explications sont beaucoup mieux assimilées par les étudiants lorsqu'elles sont données durant la projection du vidéomodèle. Le fonctionnement des circuits, jusqu'à présent si abstrait, devient beaucoup plus concret, et pas uniquement pour les étudiants, mais également pour les ingénieurs.

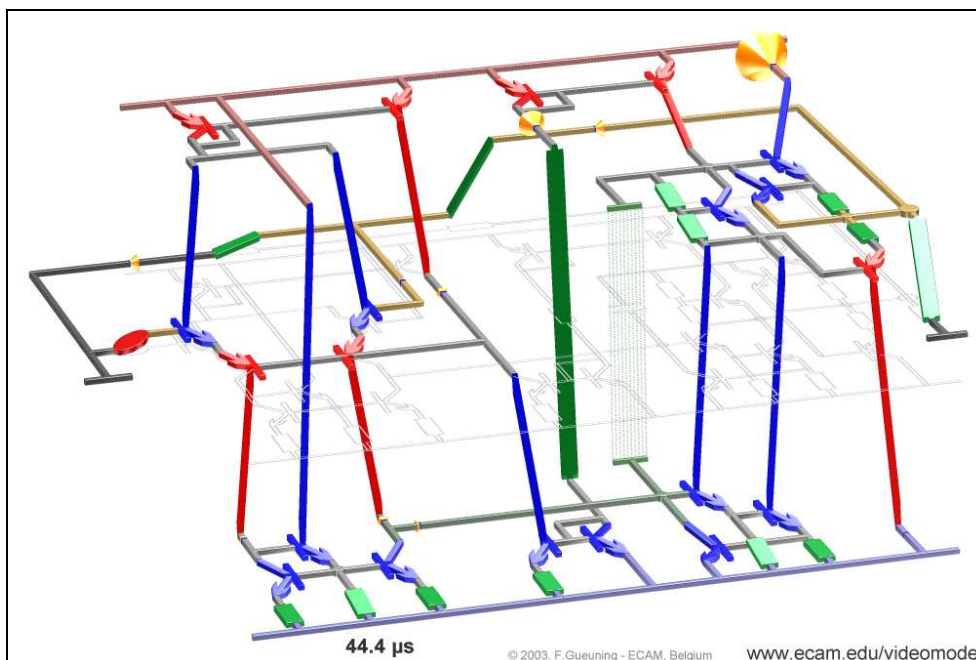


Figure 16 : Circuit intégré $\mu A741$ en montage non inverseur

5. Importance de l'effet dynamique

Avec ce type d'animation, il devient plus simple de découvrir le fonctionnement des circuits en commençant par de l'alternatif plutôt que par du continu car le cerveau est bien plus rapide dans la perception dynamique des interactions que dans l'analyse d'images statiques où il est par contre plus précis. L'effet dynamique permet de donner rapidement une vue d'ensemble des interactions entre les composants.

Pour être efficace, la fréquence de visualisation doit être comprise environ entre quelques dixièmes et quelques hertz. Dès lors, quelle que soit la fréquence du signal électrique observé, il convient évidemment de ramener son observation dans cette plage. Pour deux périodes de signal sur 100 images, une cadence de 15 images par seconde produit un effet visuel convenable. Des signaux de faible amplitude sont mieux décelés à fréquence plus élevée tandis que l'analyse de transitoires nécessite de ralentir l'allure.

6. Réalisation

La réalisation d'un vidéomodèle se fait en plusieurs étapes :

- dessin du schéma électrique du circuit et simulation à l'aide du logiciel SPICE mondialement connu et mis au point par l'Université de Berkeley afin de calculer les valeurs des potentiels et courants à chaque instant,
- à l'aide d'un logiciel professionnel de dessin de circuit, réalisation du schéma graphique 2D qui servira de base à la fabrication du vidéomodèle,
- choix des paramètres de cadrage et d'éclairage ainsi que du texte et des courbes à indiquer,
- fabrication proprement dite, réalisée automatiquement à l'aide du logiciel privé développé par des enseignants de l'ECAM. Notons que, compte tenu de la qualité exigée, la fabrication des images de synthèse demande un temps calcul important, surtout pour un circuit complexe avec format d'image et degré de qualité conséquents : un film de 100 images en qualité haut de gamme (dite "auditoire", 1008 X 672 pixels) requiert des centaines de mégaoctets de mémoire, des milliards de calculs et quelques minutes à quelques dizaines de minutes pour être généré.

Il s'agit finalement de valider le film afin de s'assurer de l'exactitude ou tout au moins de la plausibilité de son contenu.

7. Conclusion

L'objectif poursuivi était au départ de disposer d'une représentation des circuits en action afin de pouvoir illustrer en auditoire les propos de l'enseignant.

Parmi les techniques de représentation quantitative des circuits en fonctionnement, les vidéomodèles se distinguent par la qualité du graphisme et de l'information indiquée. Il est ainsi possible de montrer des comportements sensiblement plus proches de la réalité, révélant bien plus d'effets de second ordre, que dans les autres méthodes puisque des images 3D de ce type, nourries de détails, ne dérangent pas le cerveau qui, dans la vie courante, en analyse en permanence en passant sans arrêt d'une vision d'ensemble à une vision de détail. Par exemple, la nuance entre représentations de courants croissant et décroissant ne dérange pas dans un premier temps mais permet une analyse plus fine par après.

Cette qualité permet également la représentation de circuits relativement complexes. Dès lors, les vidéomodèles peuvent constituer un puissant outil non seulement pour les débutants, mais également pour les spécialistes, comme moyen de compréhension et d'expression.

Un premier sondage a été effectué auprès de personnes de tous niveaux de connaissances en électricité, de l'ignorant total au professeur d'université. Les réactions indiquent que plus de 4 personnes sur 5, quel que soit leur niveau, considèrent que cette méthode visuelle accroît très sensiblement leur rapidité de compréhension. Les vidéomodèles s'adressent donc à un large public. De même, plus de 4 étudiants sur 5 estiment que les vidéomodèles accroissent sensiblement leur compréhension intuitive des circuits et des composants.

Certains cours d'électronique de l'ECAM se donnent désormais avec ce support performant que l'on continue à développer activement. On travaille notamment à l'extension de ses champs d'applications et l'on souhaite également constituer progressivement une bibliothèque de vidéomodèles.

Mais bien sûr, si on a l'impression de pouvoir enfin voir les circuits en fonctionnement, il faut conserver à l'esprit que ce que l'on voit n'est qu'un modèle.

Notons qu'il est possible de voir des vidéomodèles sur le site internet qui leur est dédié [5].

8. Références bibliographiques

- [1] ECAM, GUEUNING Francis : *Méthode pour la visualisation, générée par ordinateur, de comportement d'assemblages de composants physiques*, demande de brevet belge n° 2001/0619
- [2] DOERING Edward R., *CircuitViz: A New Method for Visualizing the Dynamic Behavior of Electric Circuits*, IEEE Trans. Educ., vol. 39, 1996
<http://www.ece.msstate.edu/~hagler/Aug1996/005/cd/index.htm>
- [3] SULLIVAN Charles R., *Three-Dimensional Animations of Power-Electronics Circuits Visualize Voltage and Current*, 2003
<http://engineering.dartmouth.edu/other/3Dcircuits/background.html>
- [4] DEL RÍO A. & VALDÉS D., *Three-Dimensional Model for Analog Circuit Instruction*, IEEE, 1997
<http://www.ewh.ieee.org/soc/es/Nov1997/07/index.htm>
- [5] site des vidéomodèles : <http://www.ecam.edu/videomodel>