Puissance en électronique

1. Introduction

Lorsqu'on conçoit un système électronique, on ne se soucie pas toujours des aspects consommation d'énergie, dissipation de puissance. Lorsqu'on polarise un transistor ou que l'on monte un amplificateur de tension avec un AOP, on calcule les valeurs de résistance, on choisit dans une série (E12, E24...) et bien souvent, le choix du composant s'arrête là.

C'est un tord. En effet, il y a bien des cas où le choix de composant relativement à la puissance est important, car sinon :

- risque de désintégration du composant s'il n'est pas capable de dissiper la puissance imposée
- utilisation de composant trop volumineux, surdimensionné en terme de puissance, ce qui nuit à la miniaturisation, au poids du circuit (système embarqué)

Il est donc important d'être capable de calculer la puissance dissipée dans n'importe quel dipôle, sous n'importe quelle tension. C'est le but de ce petit cours.

2. Energie et puissances

L'énergie et la puissance sont deux grandeurs très liées et qui ne sont par toujours bien distinguées. On va s'attacher à en donner quelques définitions.

2.1. L'énergie

Une première définition pourrait se résumer de la manière suivante : **L'énergie est une quantité**. Cela sous entend qu'elle est stockable. Elle s'exprime en Joules (J).

Exemples : L'énergie cinétique d'une voiture qui se déplace à une certaine vitesse. L'énergie potentielle, celle d'un barrage en altitude qui stocke une réserve d'eau.

Lorqu'on dit qu'une énergie se stocke, c'est vrai en théorie, mais en pratique, c'est bien différent. En effet, prenons l'exemple d'un volant cinétique lancé à une vitesse donnée, il finira bien par s'arrêter à cause des frottements mécaniques. Un condensateur chargé finit toujours par se vider à cause de sa résistance de fuite.

Afin de prendre un peu de recul sur les énergies, voici un tableau qui présente quelques équivalences d'énergie :

Masse requise pour stocker l'équivalent d'un kg de pétrole (11,6 kWh - 1,3 litre en gros)						
Bois	**Batteries plomb acide**	**Hydrogène comprimé**	**Masse en mouvement**	**Eau en altitude**	**Uranium**	**Chaleur**
2,22 kg quelques m2 de surface mobilisés sur un an	plus de **300 kg** de batteries	de **15 à 30 kg** de réservoir, occupant un peu moins de 30 litres	2 camions de **40 tonnes** lancés à 116 km/h	**43 tonnes** d'eau pouvant effectuer 100 m de chute	**1 milligramme**	10 °C d'élévation de la température pour **1 tonne d'eau**, ou 50 °C d'élévation pour **200 kg d'eau**

Tableau issu de “www.manicore.com”, JM Jancovici

En électronique et électrotechnique, deux éléments peuvent stocker de l'énergie :

- le condensateur : $W=\frac{1}{2}.C.V^2$
- la bobine (self) : $W=\frac{1}{2}.L.I^2$

Ces deux composants ont une limite de stockage. Elle s'exprime sous la forme d'une valeur maximale de tension pour un condensateur (typiquement 16V, 25V, 63V...). Au delà, le composant explose.

Pour une self, c'est le courant maximal qui constitue la limite. Au delà, soit le noyau magnétique autour duquel est enroulé la bobine sature, soit le courant atteint la limite physique admissible du fil constituant la bobine.

2.2. Puissance

La puissance ne se stocke pas, ce n'est pas une quantité. On peut la définir comme étant **un débit d'énergie**. Tout comme le débit d'un fleuve, la puissance traduit la vitesse de déplacement de l'énergie. D'où la relation qui devient une évidence :

$$P=\frac{dW}{dt}$$ La puissance s'exprime en Watt (W)

Remarque : Les deux relations définissant l'énergie stockée dans une bobine ou dans un condensateur, connaissant la définition de la puissance, amènent deux constats :

- La tension aux bornes d'un condensateur ne peut être discontinue
- Le courant traversant une bobine ne peut être discontinu

En effet, toute discontinuité de ces grandeurs, entraînerait une discontinuité d'énergie. Or par définition, une telle rupture provoquerait une **puissance infinie** : C'est impossible.

Conséquence :

- La mise sous tension brutale d'un condensateur entraîne un appel de courant potentiellement très important de l'alimentation.
- un condensateur chargé, mis en court-circuit, provoque un arc bruyant.
- Une self parcourue par un courant ne doit jamais voir son circuit ouvert, sinon un arc électrique se produit pour assurer le passage du courant à l'instant de l'ouverture du circuit. Si l'énergie stockée est importante (fort courant, forte inductance) cela peut être très dangereux (surtension, brûlure).

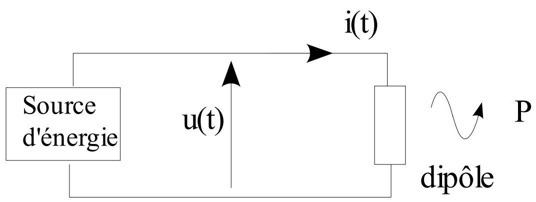
3. Calcul de puissance

La puissance ***dissipée*** par un élément, peut se calculer à partir d'une seule et même relation qui englobe tous les cas de figure possibles.

On va donc présenter une méthode générale, et ensuite, nous analyserons, au cas par cas, comment la relation de base se simplifie pour donner une relation plus immédiate.

3.1. Calcul de puissance dans le cas général

Sans préciser la nature du dipôle, on peut toujours tracer le schéma général suivant :



Selon la convention choisie (convention récepteur), la puissance reçue par le dipôle est :

$$\boxed{p(t) = u(t).i(t)} \quad (1)$$

Si p(t) est positif, le transfert d'énergie se fait de la source vers le dipôle (moteur, résistance, haut-parleur...).

La relation (1) est fondamentale. Elle décrit la ***puissance instantanée***.

Puissance moyenne

Si la puissance instantanée est à la base de tout ce qui découle en terme de puissance, c'est la ***puissance moyenne*** qui va nous intéresser. C'est elle qui est caractéristique des transferts d'énergie. Par exemple, un radiateur électrique de 1000W, consomme 1000W en moyenne. En réalité, la tension étant sinusoïdale, il existe des instants où la puissance instantanée est nulle. Mais c'est bien la moyenne de la puissance qui est perçue.

La puissance moyenne est donc, par définition, donnée par (relation elle aussi fondamentale):

$$\boxed{P=\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T p(t).dt=\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T u(t).i(t)\,dt} \quad (2)$$

3.2. Régime continu, u(t) = U_0, i(t) = I_0

C'est le cas le plus trivial, bien connu (trop connu même, puisque le débutant a tendance à se réfugier systématiquement dans ce cadre).

La relation (2) devient :

$$P=\lim_{T->\infty}\int_T U_0.I_0.dt=U_0.I_0 \quad (3)$$

3.3. Régime “semi continu” , u(t) ou i(t) est continu

On rencontre fréquemment cette situation, puisque c'est celle qui correspond typiquement à la puissance délivré par une source de tension continue.

La relation (2) devient, dans le cas u(t) = U_0:

$$P=\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T U_0.i(t)dt=U_0.\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T i(t)\,dt$$

Or, $\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T i(t)\,dt=I_0$ est la valeur moyenne du courant consommé. Donc finalement ,

$P=U_0.I_0$, avec I_0, valeur moyenne du courant i(t), à calculer. Donc on écrira plus volontiers :

$P=U_0.\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T i(t)\,dt$ (4) pour une source de tension continue U_0, ou

$P=I_0.\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T u(t)\,dt$ (4') pour une source de courant continue I_0

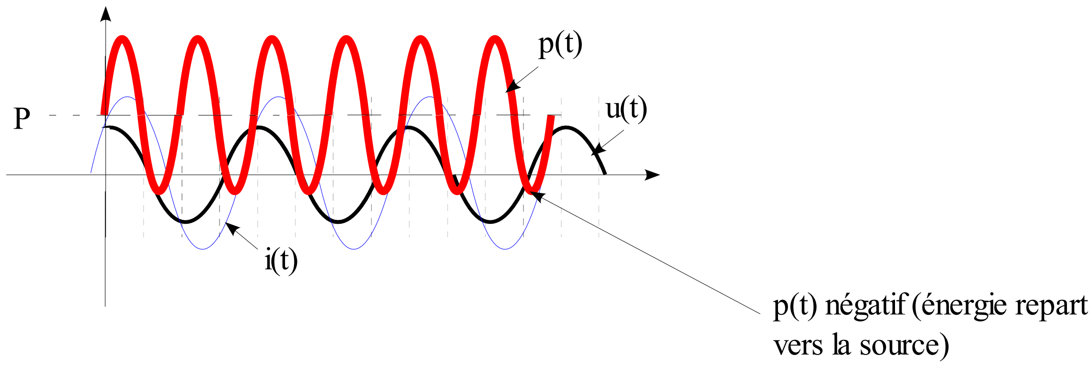
3.4. Régime sinusoïdal

C'est un cas très fréquent, pour deux raisons :

- la distribution du courant se fait en régime sinusoïdal (les centrales quelle qu'elles soient, fournissent des tensions sinusoïdales, 50Hz en France)
- la mise au point en électronique passe souvent par l'utilisation des ondes sinusoïdales.

Dans ce cas, on a $u(t)=\hat{U}.cos(2.\pi.F.t)$ et $i(t)=\hat{I}.cos(2.\pi.F.t-\varphi)$ (on suppose que le courant est en retard, lui aussi sinusoïdal, ce qui suppose un dipôle linéaire).

Graphiquement :



Ce graphe montre que par instant, la puissance devient négative et donc le transfert d'énergie se fait en sans inverse, du dipôle, vers la source. La puissance moyenne, est donc (T= 1/F) :

$$P=\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T u(t).i(t)\,dt=\frac{1}{T}.\int_T \hat{U}.\cos(2.\pi.F.t).\hat{I}.\cos(2.\pi.F.t-\varphi)\,dt$$

$$P=\frac{\hat{U}.\hat{I}}{2.\mathrm{T}}.\int_T(\cos(\varphi)+\cos(4.\pi.F.t-\varphi))\,dt \quad \text{soit}$$

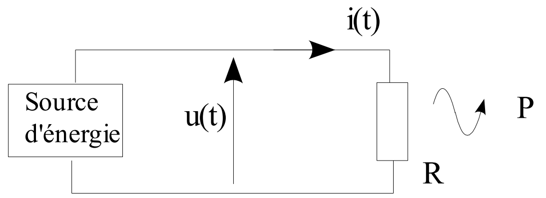
$$P=\frac{\hat{U}.\hat{I}}{2}.\cos(\varphi) \quad (5)$$

3.5. Puissance sur une résistance, régime quelconque périodique

Ce cas d'étude est très important, et c'est précisément l'occasion d'introduire la notion de ***valeur efficace***.

On parle de valeur efficace pour une tension ou un courant, et surtout pas pour la puissance. Une puissance efficace n'a strictement aucun sens. Seule la puissance moyenne ou instantanée ont un sens.

Voici le cas d'étude :



La question qui se pose est : existe-t-il une grandeur caractéristique pour une tension qui permette une comparaison en terme de puissance ?

Cas d'une source continue u(t) = U_0. On trouve immédiatement $P=\frac{U_0^2}{R}$.

Supposons maintenant u(t) quelconque et périodique :

$$P=\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T u(t).i(t)dt=\frac{1}{T}.\int_T \frac{u(t)^2}{R}.dt$$

Si nous cherchons la condition pour que u(t) produise la <u>même puissance</u> qu'un signal <u>continu</u>, on obtient :

$$P=\frac{U_0^2}{R}=\frac{1}{T}.\int_T \frac{u(t)^2}{R}.dt \quad \text{soit} \quad U_0=\sqrt{\frac{1}{T}.\int_T u(t)^2.dt}$$

Définition :

La valeur efficace d'une tension u(t), notée U ou U_{eff}, est la tension continue qui produirait sur une résistance la même puissance que u(t).

$\boxed{U_{eff}=\sqrt{\frac{1}{T}.\int_T u(t)^2.dt}}$, de la même manière on montrerait : $\boxed{I_{eff}=\sqrt{\frac{1}{T}.\int_T i(t)^2.dt}}$

On écrira donc, pour un signal quelconque périodique, u(t) ou i(t), sur charge résistive :

$P_R=\frac{U_{eff}^2}{R}=R.I_{eff}^2$ (6) on montre facilement que $U_{eff}=RI_{eff}$.

On montre également facilement que dans le cas d'une forme sinusoïdale,

$$U_{eff}=\frac{\hat{U}}{\sqrt{2}} \quad \text{et} \quad I_{eff}=\frac{\hat{I}}{\sqrt{2}}$$

La relation (5) devient donc, en utilisant la notion de valeur efficace en régime sinusoïdal :

$$\boxed{P=\frac{\hat{U}.\hat{I}}{2}.\cos(\varphi)=U_{eff}.I_{eff}.\cos(\varphi)} \quad (5')$$

Cette puissance moyenne prend le nom, dans le domaine de l'électrotechnique de ***puissance active***.

4. Synthèse des cas pour le calcul des puissances moyennes

Voici en résumé l'ensemble des cas rencontrés

Cas général

$$P=\lim_{T->\infty}\frac{1}{T}.\int_T u(t).i(t)\,dt$$

Signal périodique quelconque

$$P=\frac{1}{T}.\int_T u(t).i(t)\,dt$$

Tension <u>et</u> courant continus

$$P=U_0.I_0$$

Tension <u>ou</u> courant continu

$$P=U_0.\frac{1}{T}.\int_T i(t)\,dt$$

$$P=I_0.\frac{1}{T}.\int_T u(t)\,dt$$

Régime sinusoïdal

$$P=\frac{\hat{U}.\hat{I}}{2}.\cos(\varphi)=U_{eff}.I_{eff}.\cos(\varphi)$$

Dipôle résistif

$$P_R=\frac{U_{eff}^2}{R}=R.I_{eff}^2 \quad \text{avec} \quad U_{eff}=\sqrt{\frac{1}{T}.\int_T u(t)^2.dt}$$

$$\text{et} \quad I_{eff}=\sqrt{\frac{1}{T}.\int_T i(t)^2.dt}$$