



Systèmes linéaires

Onduleur pour centrale solaire autonome

A - Puissance fournie par l'installation

1 Pour mesurer la caractéristique d'un dipôle, quel qu'il soit, il faut l'inclure dans un montage comprenant un générateur et une résistance, comme schématisé figure 1. La présence des deux permet de faire varier indépendamment le courant et la tension aux bornes du dipôle étudié. Faisant varier la tension du générateur (et la résistance si nécessaire), on obtient la caractéristique point à point. Pour obtenir l'ensemble des caractéristiques, il faut reproduire l'expérience en plaçant le panneau photovoltaïque sous une lampe produisant un éclairement contrôlé.

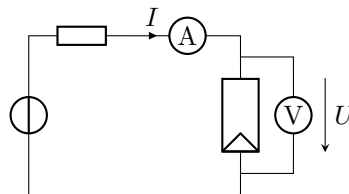


Figure 1 – Schéma de mesure d'une caractéristique.

2 La puissance fournie par le panneau solaire orienté en convention générateur est égal au produit $U \times I$. Par conséquent :

- ▷ à basse tension, $I \simeq \text{cte}$ donc la puissance **augmente linéairement** en partant d'une valeur nulle ;
- ▷ à haute tension, l'intensité **s'annule** et donc la puissance délivrée aussi ;
- ▷ entre les deux, U et I sont toujours positifs et continus, il y a donc forcément **passage par un maximum** (c'est le théorème de Rolle!)

3 En supposant l'éclairement optimal au Togo, c'est-à-dire de $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, un panneau solaire fournit une puissance $\mathcal{P}_{\text{élec}} = 200 \text{ W}$ au maximum, d'après la figure de l'énoncé. La centrale comptant 600 panneaux, la puissance maximale produite vaut donc $\mathcal{P}_{\text{tot}} = 120 \text{ kW}$, ce qui est bien l'ordre de grandeur indiqué. La surface d'un panneau solaire vaut

$$S = \underbrace{8 \times 5}_{\text{nb cell/panneau}} \times \underbrace{0,16^2}_{\text{surf cell}} = 1,0 \text{ m}^2.$$

La puissance reçue par un panneau est donc $1,0 \text{ kW}$, ce qui fait un rendement

$$\eta = \frac{\mathcal{P}_{\text{élec}}}{\mathcal{P}_{\text{solaire}}} = \frac{0,2}{1,0} \simeq 0,2.$$

B - Transformation en courant alternatif : étude numérique dans le domaine temporel

4 Si K_1 et K_3 sont fermés simultanément, et de même pour K_2 et K_4 , alors le panneau solaire est court-circuité (la tension à ses bornes est nulle), ce qui pourrait risquer de l'endommager ... bien qu'en réalité le risque soit faible pour un panneau solaire.

5 Notons A le nœud de sortie de l'onduleur se trouvant dans la branche de K_1 et K_3 , et B le nœud se trouvant dans la branche K_2 et K_4 . On suppose que les deux bornes du module photovoltaïque se trouvent aux potentiels 0 et E . Ainsi, fermer les interrupteurs permet d'imposer le potentiel des nœuds A et B .

- ▷ si K_1 et K_4 sont fermés, alors $V_A = E$, $V_B = 0$ donc $u = V_A - V_B = E$;
- ▷ si K_1 et K_2 sont fermés, alors $V_A = V_B = E$ donc $u = 0$... et de même si ce sont K_3 et K_4 qui sont fermés, puisque alors $V_A = V_B = 0$;
- ▷ si K_2 et K_3 sont fermés, alors $V_A = 0$ et $V_B = E$, donc $u = -E$.

6 La variable temps réduit τ représente le temps qui s'est écoulé depuis le dernier changement de période, ou autrement dit l'instant t' en ayant redéfini l'origine des temps $t' = 0$ au dernier changement de période, ou encore $t[T]$ en utilisant l'opérateur modulo. Cela permet de construire un signal périodique. La courbe de $u(t)$ est représentée figure 2.

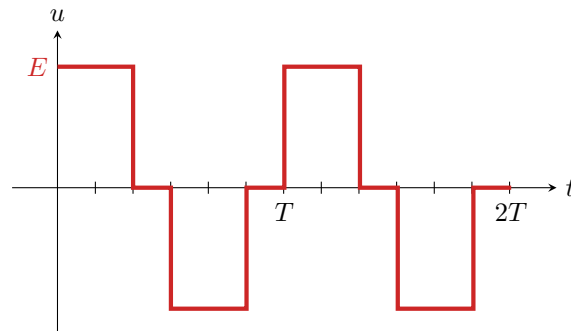


Figure 2 – Allure de la tension $u(t)$.

7 Par un pont diviseur de tension,

$$\frac{\underline{v}}{\underline{u}} = \frac{R}{R + jL\omega} \quad \text{soit} \quad \boxed{\underline{H} = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}}}$$

Par un produit en croix,

$$\left(1 + j\omega \frac{L}{R}\right) \underline{v} = \underline{u}$$

soit en revenant dans le domaine temporel

$$v + \frac{L}{R} \frac{dv}{dt} = u$$

ou encore

$$\boxed{\frac{dv}{dt} + \frac{1}{\tau} v = \frac{u}{\tau} \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{L}{R}}$$

8 Raisonnons entre les deux instants t_n et t_{n+1} . Avec le schéma d'Euler explicite,

$$\frac{v_{n+1} - v_n}{\Delta t} + \frac{1}{\tau} v_n = \frac{1}{\tau} u(t_n)$$

ce qui s'écrit également

$$v_{n+1} = v_n + \frac{\Delta t}{\tau} (u(t_n) - v_n).$$

9 Les choses sont posées un peu différemment par rapport au cours et à la fiche outil : ici, ni la valeur du pas de temps ni le nombre de pas de temps ne sont connus directement, mais ils sont « cachés » dans la liste `lst_t`. Il faut donc commencer par les déterminer. En outre, la valeur $u(t_n)$ doit être calculée en utilisant la fonction `commande_u`. Enfin, attention à la portée du `range` dans la boucle `for` : le dernier élément des listes a pour indice N , il faut donc s'arrêter à $n = N - 1$ pour le dernier calcul de $v_{n+1} = v_N$. On peut donc proposer le code suivant :

```

1  def calcul_v(tau, lst_t):
2      """
3      Renvoie une liste contenant la valeur de v(t) pour
4      chaque instant appartenant à la liste lst_t.
5      """
6      ### Pas de temps :
7      N = len(lst_t) # nbre pas de temps
8      dt = lst_t[1] - lst_t[0] # pas de temps supposé constant
9
10     ### Initialisation :
11     v = [None for n in range(N)]
12     v[0] = 0

```

```

14     ### Récurrence :
15     for n in range(N-1):
16         v[n+1] = v[n] + dt/tau * (commande_u(lst_t[n]) - v[n])
18     return v

```

10 Pour $\tau \ll T_0$, on constate que la tension $v(t)$ s'écarte beaucoup de la sinusoïde espérée. À l'inverse, pour $\tau \gg T_0$, la tension $v(t)$ semble bien sinusoïdale, mais elle est d'amplitude très faible. Par conséquent, au vu de ces courbes, la meilleure valeur possible pour τ semblerait donc être $\tau \simeq T_0$.

C - Transformation en courant alternatif : interprétation fréquentielle

11 • **Nature du filtre** : La fonction de transfert du filtre s'écrit

$$H = \frac{1}{1 + j\omega \frac{L}{R}} = \frac{1}{1 + j\omega\tau}.$$

On reconnaît la fonction de transfert d'un filtre passe-bas du premier ordre de pulsation de coupure $\omega_c = 1/\tau$.

• **Diagramme de Bode** : dans la limite basse fréquence,

$$\underline{H} \sim \frac{1}{1} \quad \text{donc} \quad G_{\text{dB}} = 20 \log 1 = 0.$$

Dans la limite haute fréquence,

$$\underline{H} \sim \frac{1}{j\omega\tau} \quad \text{donc} \quad G_{\text{dB}} = 20 \log \left| \frac{1}{j\omega\tau} \right| = -20 \log(\omega\tau)$$

ce qui donne une pente de -20 dB/décade.

12 La tension u est une tension de période T_0 , donc de fréquence f_0 et de moyenne nulle : son spectre ne contient donc que des fréquences multiples de f_0 , sans composante continue.

- ▷ Il y a une composante continue (fréquence nulle) dans le spectre ①, qui ne peut donc pas convenir ;
- ▷ Les fréquences présentes dans le spectre ③ ne sont pas toutes des multiples de f_0 , ce qui ne peut pas convenir ;
- ▷ Les fréquences présentes dans le spectre ④ sont des multiples de $2f_0$, ce qui signifie que le signal correspondant a une période $T_0/2$, ce qui ne convient pas non plus.

Par conséquent, c'est forcément le **spectre** ② qui correspond au spectre de la tension u .

13 Pour que la tension v soit la plus sinusoïdale possible, il faut que le filtre conserve le fondamental de fréquence f_0 mais coupe autant que possible les harmoniques d'ordre supérieur, dont la première a pour fréquence $5f_0$. Il faut donc choisir

$$f_0 \lesssim f_c \ll 5f_0 \quad \text{soit} \quad f_0 \lesssim \frac{1}{2\pi\tau} \ll 5f_0 \quad \text{d'où} \quad \frac{T_0}{10\pi} \ll \tau \lesssim \frac{T_0}{2\pi}.$$

On constate donc que choisir $\tau \simeq T_0$ comme deviné dans la partie précédente peut constituer un bon choix.

14 Un circuit RLC série forme un filtre passe-bande, avec l'intérêt que la fréquence centrale peut être d'amplitude très supérieure aux autres si le facteur de qualité est suffisamment élevé (filtre très résonant). Ce faisant, les harmoniques d'ordre supérieur sont très atténuées en sortie du filtre, bien davantage qu'avec un passe-bas, comme représenté figure 3.

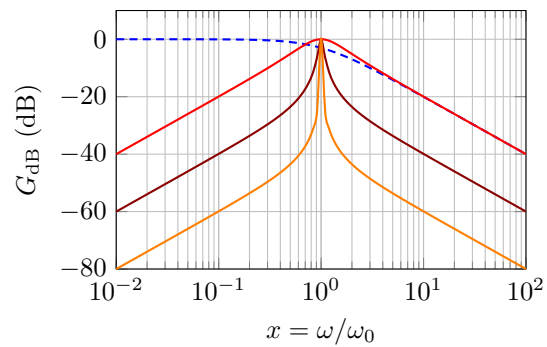


Figure 3 – Diagramme de Bode d'un filtre passe-bande. Tracés pour un facteur de qualité valant respectivement 1, 10 et 100. Le diagramme de Bode du passe-bas est représenté en pontillés pour comparaison, et se superpose au passe-bande $Q = 1$ sur la droite de la figure.