



BLAISE PASCAL
PT 2022-2023

DM 2 – à rendre mercredi 14 septembre

Systèmes linéaires

Travailler avec vos cours et TD ouverts est **chaudement recommandé** : un DM est un entraînement, pas une évaluation. En cas de besoin, **n'hésitez pas à me poser des questions**, à la fin d'un cours ou sur le serveur de la classe.



Flasher ce code pour accéder au corrigé

Ceinture		Travail à réaliser
	Ceinture blanche	Partie B uniquement
	Ceinture jaune	Parties B et C uniquement
	Ceinture rouge	Totalité du sujet
	Ceinture noire	Totalité du sujet

Onduleur pour centrale solaire autonome



Fournir aux populations des pays pauvres une électricité décarbonée est un enjeu majeur, à la croisée des problématiques climatiques et de développement. À ce titre, le solaire est parfaitement adapté à de nombreux pays d'Afrique. Ces pays disposant rarement d'un réseau électrique centralisé, il peut s'agir de bâtir un maillage de petites centrales solaires autonomes.

On s'intéresse à une centrale solaire inaugurée au Togo en 2019, constituée de trois ensembles de 200 panneaux solaires. Chaque panneau est un rectangle de 8×5 cellules photovoltaïques carrées de 16 cm de côté. L'ensemble peut produire une puissance crête de l'ordre d'une centaine de kW.

A - Puissance fournie par l'installation

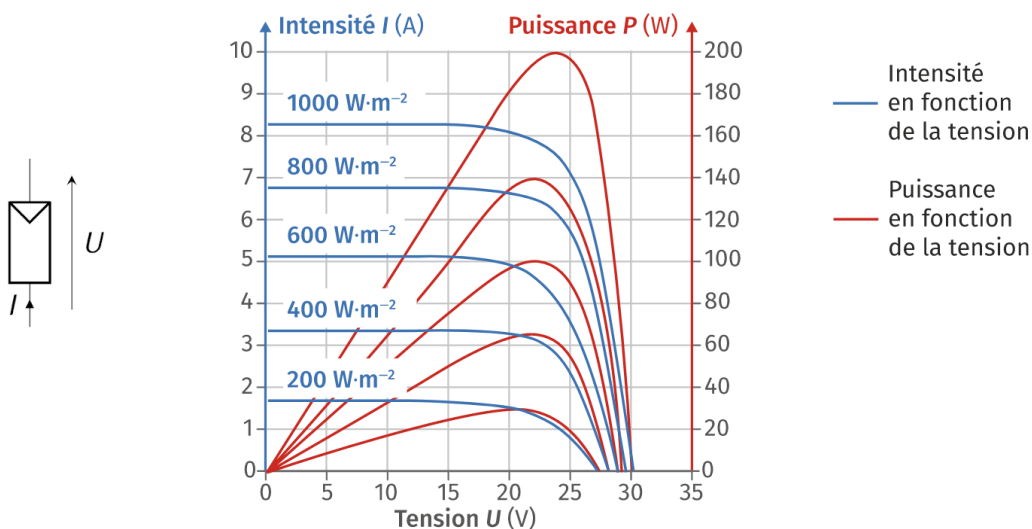


Figure 1 – Caractéristique d'un panneau solaire. Caractéristiques représentées en convention générateur pour différentes valeurs du flux solaire incident. Les courbes représentant l'intensité tendent vers une valeur constante à basse tension, alors que les courbes de puissance ont une allure « en cloche ». Version couleur sur le site de la classe.

- 1 - La caractéristique d'un panneau photovoltaïque est représentée figure 1. Décrire précisément mais succinctement un protocole expérimental permettant de mesurer l'une de ces caractéristiques. Schématiser le montage utilisé.
- 2 - Justifier qualitativement l'allure des courbes de puissance, et en particulier l'existence d'un maximum.
- 3 - Retrouver l'ordre de grandeur de la puissance produite par la centrale togolaise et estimer son rendement.

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

Pour que l'énergie produite par la centrale puisse être consommée par les appareils électriques, il faut transformer la tension continue $E \simeq 30\text{ V}$ supposée constante délivrée par un panneau en tension alternative $s(t)$ de fréquence $f_0 = 50\text{ Hz}$ et de tension efficace $U_0 = 230\text{ V}$. Cette transformation se décompose en trois étapes :

- ▷ tout d'abord, un onduleur de tension autonome positionné après les panneaux photovoltaïques transforme le signal continu E en un signal alternatif $u(t)$;
- ▷ pour que la tension de sortie soit la plus proche possible d'un signal sinusoïdal, une inductance de lissage L est insérée en sortie de l'onduleur;
- ▷ une dernière étape, non étudiée ici, consiste à amplifier la tension $v(t)$ pour obtenir la tension $s(t)$ voulue.

Un onduleur est un convertisseur statique, utilisant une structure en pont à quatre interrupteurs commandés périodiquement et de manière indépendante. Sa structure est représentée figure 2. De manière très simplifiée, on modélisera le transformateur et le circuit qui le suit par une simple résistance R soumise à la tension v . L'association avec l'inductance de lissage forme donc une cellule R, L de tension d'entrée u et de sortie v .

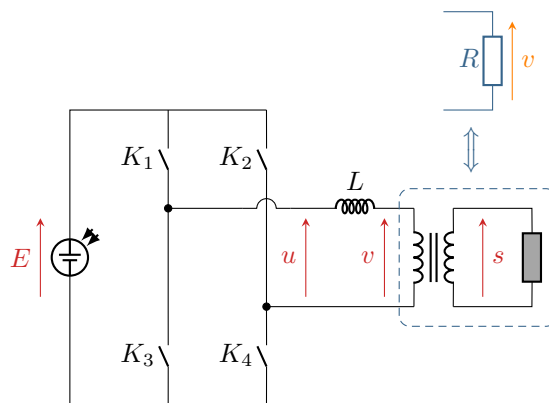


Figure 2 – Structure d'un onduleur autonome.

L'objectif des deux dernières parties est d'argumenter le choix de la valeur de l'inductance de lissage. Dans un premier temps, on réalise une étude numérique en s'appuyant sur le programme ci-dessous. La fonction `np.floor` appliquée à un flottant positif renvoie la partie entière de ce flottant : par exemple, `np.floor(7.8)` renvoie 7.0.

```

1  import numpy as np
3  E = 30          # en V
5  f0 = 50        # en Hz
6  T0 = 1/f       # en s
8  def commande_u(t):
9      """
10     Renvoie la valeur de la tension u à un instant t donné.
11     """
12     tr = t - np.floor(t/T0) * T0 # temps réduit
13     if tr < T0/3:
14         return E
15     elif tr >= T0/3 and tr < T0/2:
16         return 0
17     elif tr >= T0/2 and tr < 5*T0/6:
18         return -E
19     else:
20         return 0

```

```

23 def calcul_v(tau, lst_t):
24     """
25     Renvoie une liste contenant la valeur de v(t) pour
26     chaque instant t appartenant à la liste lst_t.
27     """
28
29     # à compléter
30
31     return v

```

4 - Justifier que, pour des raisons de sécurité, il ne faut pas que K_1 et K_3 soient fermés simultanément, et de même pour K_2 et K_4 .

5 - Montrer que la tension u peut prendre les valeurs 0 , E et $-E$. Donner l'état (ouvert/fermé) des quatre interrupteurs pour chacune de ces valeurs.

6 - La fonction `commande_u` permet de calculer la valeur de la tension $u(t)$ à tout instant t . Que représente la variable « temps réduit » `tr`? Représenter la tension $u(t)$ sur deux périodes. Attention, l'objectif n'est pas d'utiliser `pyplot` (même si vous pouvez le faire pour vérifier votre résultat) mais de comprendre ce que renvoie la fonction pour faire le tracé à la main.

7 - Établir la fonction de transfert harmonique $\underline{v}/\underline{u}$ de la cellule R, L . En déduire la relation différentielle entre les tensions $u(t)$ et $v(t)$. Identifier un temps caractéristique τ .

8 - En appliquant le schéma d'Euler explicite, établir une relation de récurrence permettant de calculer de proche en proche les valeurs $v_n = v(t_n)$ à un ensemble d'instant t_n séparés d'un pas de temps Δt .

9 - Compléter la fonction `calcul_v`, prenant en argument le temps caractéristique τ identifié précédemment et une liste d'instant `lst_t`. On supposera $v(t=0) = 0$.

10 - La fonction `calcul_v` pour différentes valeurs de τ donne les allures représentées sur la figure 3. Quelle valeur de τ parmi celles représentées vous semble la plus adaptée pour le bon fonctionnement de l'onduleur? Quel problème se pose si τ est trop petit? s'il est trop grand?

Pour ceux qui auraient la bonne idée de vouloir vérifier que leur fonction `calcul_v` reproduit bien les courbes de la figure 3, notez bien que je n'ai représenté qu'une petite fraction des instants contenus dans `lst_t`. Les courbes aux temps courts sont trop influencées par la condition initiale pour être pertinentes en vue d'étudier le régime établi, ce qui est notre but ici.

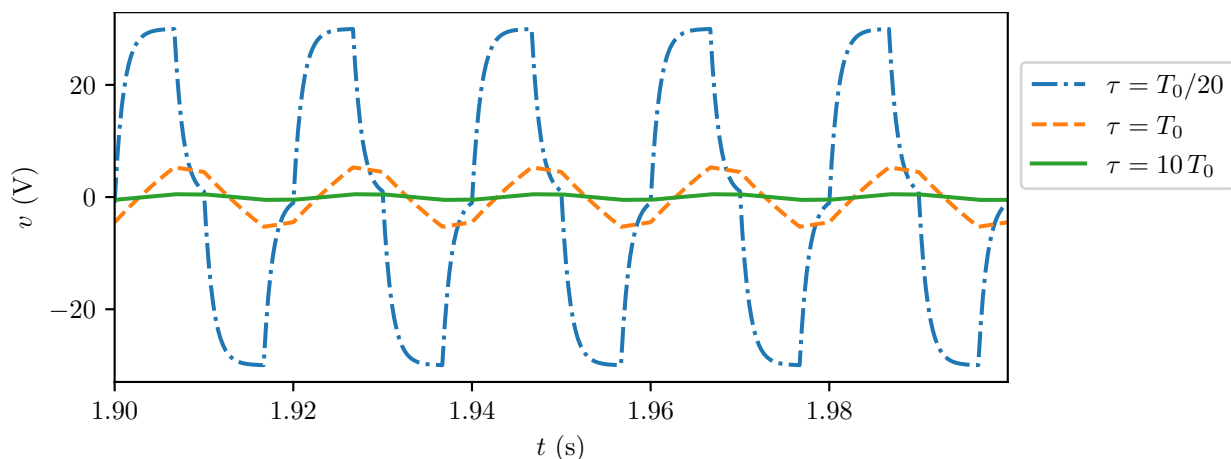


Figure 3 – Courbe $v(t)$ obtenue par résolution numérique. Version couleur sur le site de la classe.

C - Transformation en courant alternatif : interprétation fréquentielle

Cette dernière partie a pour but de comprendre le choix empirique de τ discuté à la partie précédente. On s'appuie pour cela sur un raisonnement fréquentiel, en analysant le rôle de la cellule R, L comme un filtrage de la tension u produisant la tension v .

11 - On rappelle que la fonction de transfert du filtre a été établie à la question 7. De quel type de filtre s'agit-il ? Comment le temps τ s'interprète-t-il dans ce contexte ? Tracer son diagramme de Bode en justifiant.

12 - La figure 4 donne quatre propositions de spectres pouvant correspondre à la tension $u(t)$ produite par l'onduleur. Laquelle de ces propositions est la bonne ? Justifier chaque proposition fautive.

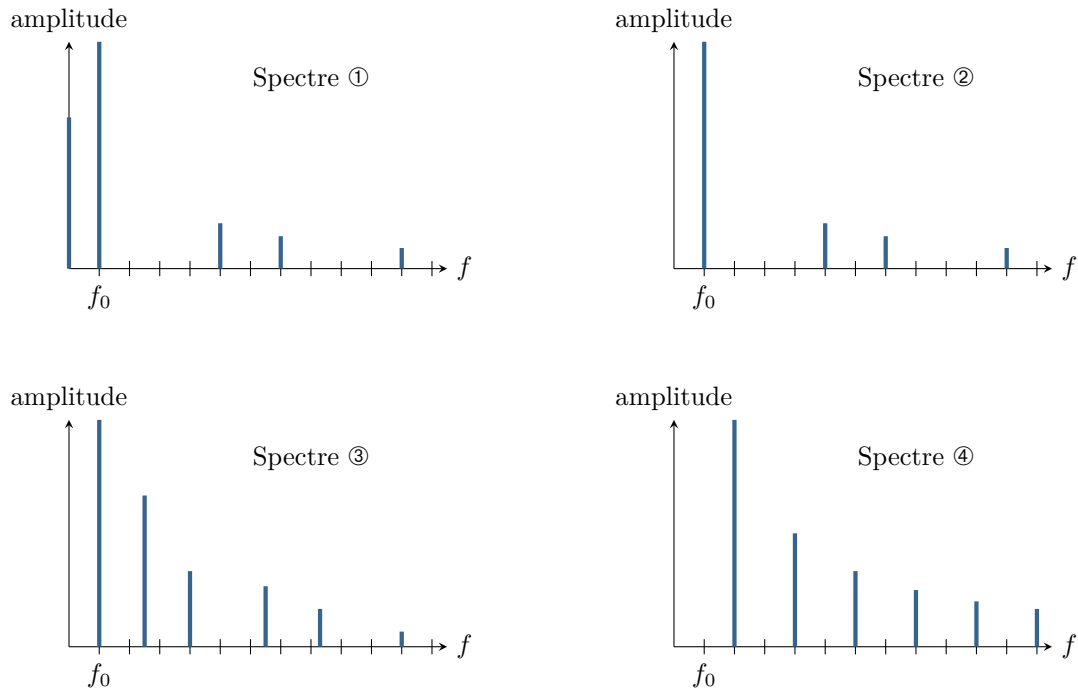


Figure 4 – Spectres à identifier pour le signal $u(t)$.

13 - Comment la cellule R, L doit-elle transformer le spectre de u pour le bon fonctionnement de l'installation ? Conclure qualitativement sur la valeur à donner à τ . Commenter en lien avec la partie précédente.

14 - Pour des appareils plus exigeants sur la pureté spectrale du signal de sortie, on inclut parfois un condensateur de lissage monté en série avec la bobine. Expliquer l'intérêt en raisonnant en termes de filtrage.