

**Session S-3**  
Génie électrique

**Électrotechnique**  
**Unité APP 4**

**Électronique de puissance**

Département de génie électrique et de génie informatique  
Faculté de génie  
Université de Sherbrooke

**Été 2023**

Tous droits réservés © 2023 Département de génie électrique et de génie informatique,  
Université de Sherbrooke

# Guide de l'étudiant

**Note :** En vue d'alléger le texte, le masculin est utilisé pour désigner les femmes et les hommes.

Document GEL331\_Guide\_etudiant\_Aut2020.docx  
Version 5, 6/12/23  
Rédigé par João Pedro Trovão, révisé par Minh C. Ta  
Copyright © 2023

# Table des matières

1- Éléments de compétence de la session S3 visés par l'unité.....	4
2- Énoncé de la problématique.....	5
3- Connaissances nouvelles à acquérir par la résolution de cette problématique .....	11
4- Références obligatoires à consulter .....	12
5- Activités liées à la problématique .....	14
6- Livrables .....	15
7- Formation à la pratique procédurale (1 <sup>re</sup> semaine).....	16
7.1- Énoncés des problèmes à résoudre .....	17
8- Laboratoire 1 :.....	23
Redressement monophasé double alternance non-commandé et semi-commandé avec diode de roue-libre .....	23
9- Formation à la pratique procédurale (2 <sup>e</sup> semaine).....	25
9.1- Énoncés des problèmes à résoudre .....	26
10- Laboratoire 2 : Redressement monophasé double alternance et semi-commandé avec diode de roue-libre .....	32
11- Évaluation de l'unité.....	33
11.1- Rapport de la problématique.....	34
11.2- Rapport de Laboratoire (Labo 1) .....	35
11.3- Validation (Labo 2 : validation et rapport) .....	35
11.4- Examens.....	35
12- Consigne pour la rédaction des rapports.....	36

# 1- Éléments de compétence de la session S3 visés par l'unité

## **GEL-331 Électronique de puissance**

1. Analyser et simuler le fonctionnement d'un convertisseur d'électronique de puissance ;
2. Concevoir un convertisseur d'électronique de puissance.

## **GEL-362 Thermique**

1. Appliquer les notions d'échange de chaleur au refroidissement des dispositifs et des systèmes en électrotechnique.

## 2- Énoncé de la problématique

### Onduleur monophasé commuté par la charge – Alimentation de sécurité

#### Mise en contexte

Votre équipe de 2 personnes doit faire l'étude de tous éléments constituant une chaîne de conversion de **courant alternatif-alternatif indirect, utilisant un tampon d'énergie et un onduleur monophasé commuté par la charge et un hacheur dévolteur (abaisseur)**. L'étude sera faite en quatre parties :

- Une première partie est dédiée à la recharge du tampon d'énergie (bloc batterie) par le biais d'un redresseur triphasé non contrôlé à diodes ;
- Une deuxième partie est l'alimentation de la charge par le bloc batterie, utilisant un onduleur à thyristors;
- La troisième partie est en lien avec le fonctionnement de la chaîne de conversion dans sa totalité.
- La quatrième et dernière partie est en lien avec le remplacement de l'onduleur et charge RLC par un hacheur dévolteur et une charge RLE, pour l'étude d'une conversion continu-continu.

La chaîne de conversion alternatif-alternatif avec tampon d'énergie que vous devez étudiée est constituée d'un(e)

- Alimentation par réseau triphasé AC à  $220^1 \text{ V} / 60 \text{ Hz}$  ;
- 1 transformateur (idéal), rapport de transformation  $a=2$  ( $a=V_1/V_2$ ) ;
- 1 redresseur à diode triphasé (6 diodes) ;
- Filtre LC (25 mH; 6600  $\mu\text{F}$ ) ;
- Bloc batterie (à définir pour une autonomie de 15 min) ;
- 1 onduleur monophasé à thyristor ;
- Charge RLC série (2  $\Omega$ ; 25 mH et 15  $\mu\text{F}$ ).

La chaîne de conversion de l'énergie est conforme au schéma de la figure 1.

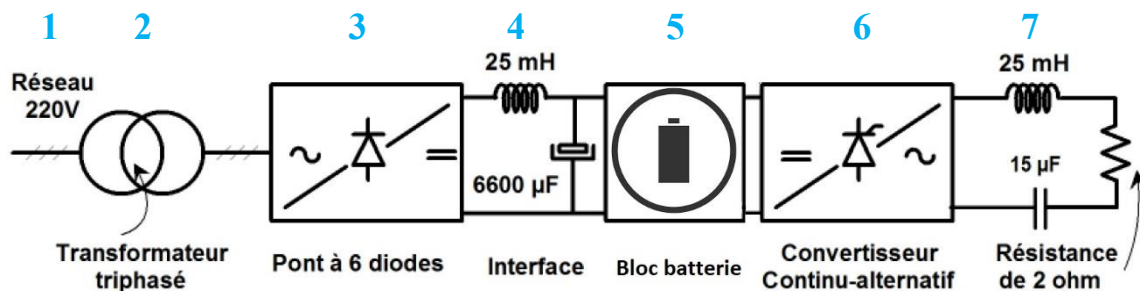


Figure 1 – Constitution de la chaîne de conversion de l'énergie

<sup>1</sup> Tension Ligne-Ligne

## Description de votre mandat

La chaîne de conversion AC-DC-AC est composée des sept éléments listés plus haut. Ces éléments sont représentés sur le schéma de la figure 1.

Le mandat qui vous est confié consiste à **simuler** sur Matlab/Simulink l'opération de la chaîne de conversion de l'énergie, de telle sorte que les trois phases d'opération puissent être identifiées (**charge du bloc batterie; Alimentation de la charge par le bloc batterie et alimentation de la charge par le réseau AC**), **dimensionner le bloc batterie** et **faire l'étude détaillée du fonctionnement de l'onduleur** monophasé commuté par la charge.

Finalement, en fonctionnement isolé du réseau (bloc de batterie comme source), vous devrez remplacer l'onduleur et sa charge par un **hacheur dévolteur** pour alimenter la machine à courant continu vue comme un **circuit RLE** au laboratoire.

## Points à déterminer

### 1) Simulation des trois modes d'opération de la chaîne de conversion de l'énergie alternatif-alternatif

#### **a) Mode A – Redresseur sur le bloc batterie;**

Faire l'implémentation des éléments (1-5) et simuler la recharge du bloc batterie à partir de la tension minimum.

#### *i) Dimensionner le bloc batterie*

Avec les caractéristiques du système proposé à la figure 1 et **considérant une autonomie de 15 min en mode de fonctionnement isolé**, déterminer le nombre de **module de batterie de 12 V (Valence U1-12XP)** à mettre en série et parallèle pour alimenter la charge à sa pleine capacité (n'admettre qu'une variation de tension sur le bus DC de **10% maximum durant le fonctionnement isolé**).

[https://www.celltech.se/fileadmin/user\\_upload/Celltech/Products/Litium\\_laddningsbara/Valence\\_Modules/XP\\_Module\\_Datasheet.pdf](https://www.celltech.se/fileadmin/user_upload/Celltech/Products/Litium_laddningsbara/Valence_Modules/XP_Module_Datasheet.pdf)

Déterminer

$n_s$   
 $n_p$

$$V_{batt} = n_s \cdot V_{cellule}$$

$$I_{batt} = n_p \cdot I_{cellule}$$

#### *ii) Observer et relever simultanément les formes d'ondes de tension et courant à l'entrée et sortie des cinq éléments en étude.*

- Déterminer<sup>2</sup> la valeur efficace du courant à l'entrée du redresseur;
- Déterminer la valeur moyenne de la tension aux bornes du condensateur (6600µF);
- Déterminer la valeur moyenne du courant traversant l'inductance;
- Quels sont les avantages et inconvénients de cette méthode de rechargement?

<sup>2</sup> dans ce contexte « **Déterminer** » signifie mesurer numériquement (où calculer) à partir des signaux obtenus par simulation.

**b) Mode B – Onduleur sur charge résonante alimenté par la batterie;**

Faire l'implémentation des éléments (5-7) et simuler deux périodes de la fréquence fondamentale de la charge (fréquence de résonance).

Observer et relever simultanément les formes d'ondes de tension et courant à l'entrée et sortie des trois éléments en étude.

- Déterminer la valeur efficace du courant de la charge;
- Déterminer la valeur efficace de la tension de la charge;
- Déterminer la valeur moyenne du courant fourni par le bloc batterie.

**c) Mode C – Redresseur et onduleur sur charge résonante.**

i) *Faire l'implémentation toute la chaîne de conversion de l'énergie (sans le bloc batterie) et simuler deux périodes de la fréquence fondamental de la charge.*

Observer et relever simultanément les formes d'ondes de tension et courant à l'entrée et sortie de tous les éléments en étude.

- Déterminer la valeur efficace du courant à l'entrée du redresseur;
- Déterminer la valeur moyenne de la tension aux bornes du condensateur (6600 $\mu$ F);
- Déterminer la valeur moyenne du courant traversant l'inductance du bus DC;
- Déterminer la valeur efficace du courant de la charge;
- Déterminer la valeur efficace de la tension de la charge;

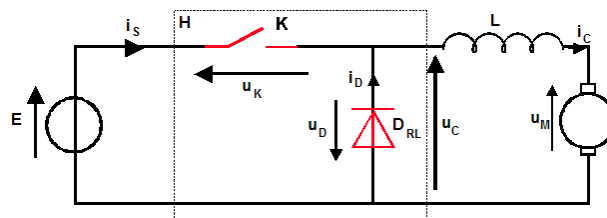
ii) *Étude détaillée du fonctionnement de l'onduleur*

Représenter et décrire les quatre phases de fonctionnement de l'onduleur monophasé commuté par la charge et présenter les équations de tension et courant dans le condensateur de la charge.

**2) Hacheur dévolteur**

**a) Mode D – Hacheur dévolteur sur charge RLE;**

En mode de fonctionnement isolé du réseau (*bloc de batterie comme source*), remplacer l'onduleur et sa charge RLC par la machine à courant continu à flux constant (excitation constante) du laboratoire (voir manipulation 3) quand elle est alimentée par la topologie suivante (*remplacer la machine par la même charge RLE du laboratoire*) à partir du bloc batterie dimensionné au point 1).



Faire l'implémentation de cette chaîne de conversion de l'énergie (E est le bloc batterie) et simuler deux périodes de la fréquence d'opération de la charge.

$$\text{Rapport cyclique} = \frac{T_{on}}{T_{total}} = \alpha$$

- Observer et relever simultanément les chronogrammes de la tension et du courant de charge,  $u_c$  et  $i_c$ , pour un rapport cyclique qui origine la même vitesse que la manipulation 3 du laboratoire (même FEM).
- Observer et relever le chronogramme du courant dans la diode de roue-libre,  $i_d$ . **Commenter.**
- Donner les intervalles de conduction de l'interrupteur K.
- Déterminer la valeur moyenne de la tension de la charge.

### Présentation des résultats :

Le point culminant de votre mandat sera la présentation de votre rapport de simulation (rapport d'APP), que vous devrez remettre le **jeudi 22 juin** (23h59). Le noyau de ce rapport doit contenir les informations techniques a), b), c) et d) suivantes :

a) Conception de votre batterie :

Le nombre de modules en série et en parallèle, schéma de connexion et paramètre de batterie équivalente pour votre bloc batterie.

b) Résultats simulation pour les **Modes A, B et C**:

Les courbes de tension/courant et les valeurs efficaces/moyennes demandées.

c) Fonctionnement de l'onduleur - **Modes C**:

Présenter l'architecture, la description des différentes phases de fonctionnement de l'onduleur, avec les équations pour la tension et le courant du condensateur.

d) Fonctionnement de l'Hacheur dévolteur – **Mode D**:

Présenter l'architecture, la description des différentes phases de fonctionnement de l'hacheur, avec les équations pour la tension et le courant de la bobine.

Les courbes de tension/courant et les valeurs efficaces/moyennes demandées.

Déterminer la puissance thermique dissipée dans K et  $D_{RL}$  en utilisant les données suivantes :

• Pour K :

$t_{on} = t_{off} = 125 \text{ ns}$ , avec un temps de recouvrement de 75 ns  
 $R_{on} = 5,5 \text{ m}\Omega$

• Pour  $D_{RL}$  :

$V_{RL\_max} = 0,65 \text{ V}$

Voir tableau tuto

Calculer la résistance thermique du radiateur pour une température maximale de la puce du K de **60°C** et un fonctionnement à une température ambiante de **20°C**.

*Présenter toutes les informations permettant de convaincre le lecteur que vous avez une excellente compréhension des relations entre les topologies et la performance de votre chaîne de conversion de l'énergie.*





## U-Charge® XP 12V & 19V Battery Modules

Valence Technology delivers safe lithium iron magnesium phosphate (LFMP) energy storage solutions in standard BCI lead-acid battery sizes for a wide variety of applications.

### Overview

The U-Charge® Energy Storage and Management Systems are a family of 12V and 19V battery modules and accessories.

Modules offer twice the run-time and nearly half the weight of similar sized lead-acid batteries. They are built with Valence LFMP technology that offers outstanding intrinsic safety and excellent float and cycle life resulting in low cost of ownership. Thousands of U-Charge systems have been deployed since 2006 across numerous motive and energy storage applications.

Easy scalability of voltage and capacity, and flexible battery management systems ensure the U-Charge® XP series ideal for high current, high voltage applications.

### Features

- ⊕ Thousands of cycles, 100% DOD, under normal conditions
- ⊕ Exceptional voltage stability
- ⊕ Application voltages from 12V - 700V
- ⊕ Maintenance free
- ⊕ Intra-module cell balancing
- ⊕ Can be charged using most standard lead-acid chargers (set for AGM/GEL cells)
- ⊕ Communication of monitored data via Battery Management System (BMS)
- ⊕ Rugged mechanical design
- ⊕ Dust and water resistant to IP56 standards
- ⊕ Flame retardant plastics
- ⊕ LED battery status indicator
- ⊕ Carrying Straps (U24, U27 UEV)

Specifications		U1-12XP	U24-12XP	U27-12XP	UEV-18XP
Nominal Module Voltage		12.8 V	12.8 V	12.8 V	19.2 V
Nominal Capacity (C/5, 23°C)		40 Ah	110 Ah	138 Ah	69 Ah
Weight (approximate)		6.5 kg	15.8 kg	19.5 kg	14.9 kg
Dimension incl. Terminals LxWxH		197x131x182mm	260x172x225mm	306x172x225mm	269x148x245mm
BCI Group Number		U1R	Group 24	Group 27	N/A
Terminals, Female-Threaded		M6 x 1.0	M8 x 1.25	M8 x 1.25	M8 x 1.25
Specific Energy		79 Wh/kg	89 Wh/kg	91 Wh/kg	89 Wh/kg
Energy Density		110 Wh/l	139 Wh/l	148 Wh/l	124 Wh/l
Standard Discharging @ 25°C	Max. Continuous Load Current	80 A	150 A	150 A	120 A
	Peak Load Current (30 sec).	120 A	300 A	300 A	200 A
	Cut-off Voltage	10 V	10 V	10 V	15 V
Standard Charging	Max. Charge Voltage	14.6 V	14.6 V	14.6 V	21.9 V
	Float Voltage	13.8 V	13.8 V	13.8 V	20.7 V
	Approximate	20 A	55 A	70 A	35 A
	Charge Time†	2.5 hrs	2.5 hrs	2.5 hrs	2.5 hrs
DC internal resistance (max)		15 mΩ	6 mΩ	5 mΩ	10 mΩ

† Charging under recommended conditions

$$Capacity = 40Ah$$

$$V_{nominal} = 12.8V$$

[www.valence.com](http://www.valence.com)

## Common specifications

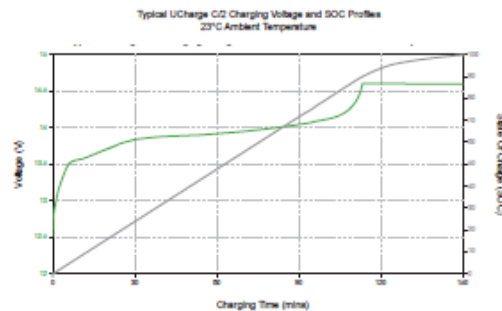
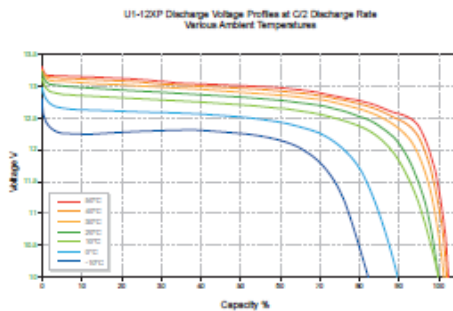
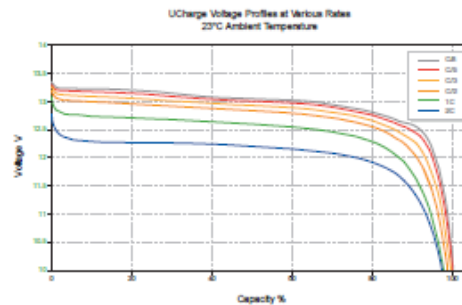
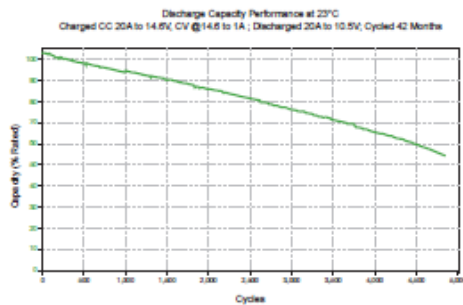
Discharge temperature	-10°C to 50°C
Charge temperature	0°C to 45°C
Storage temperature	-40°C to 50°C
Operating humidity	5% to 95%, non-condensing
Water/dust resistance	IP56
Shock and vibration	IEC62133, DIN VG96 924
Certifications	FCC Class B, CE, UL1642 (cells only)
Shipping Classification	UN 3480, Class 9

## Accessories

Battery Management Systems that feature battery to battery balance control, direct control capability for up to four contactors, and CAN-Bus communications port for monitoring and control of data systems.

- ⊕ U-BMS-HV operates at 100V - 450V
- ⊕ U-BMS-LV operates at 10V - 150V
- ⊕ U-BMS-SHV operates at 350V - 700V

Please refer to separate datasheet on the U-BMS products or visit the U-BMS section on the website for more information.



## Corporate Headquarters

12903 Technology Blvd.  
Suite 950  
Austin,  
Texas 78727

Toll (888) VALENCE or +1 (512) 527-2900  
Fax +1 (512) 527-2910  
Email [sales@valence.com](mailto:sales@valence.com)

## EMEA Sales

Unit 63 Mullusk Enterprise Park  
Mullusk Co. Antrim  
Northern Ireland  
BT36 4GN

Toll +44(0) 28 9084 5400  
Fax +44(0) 28 9083 8912  
Email [sales@valence.com](mailto:sales@valence.com)

Performance may vary depending on, but not limited to cell usage and application. If cell is used outside specifications, performance will diminish. All specifications are subject to change without notice. All information provided herein is believed, but not guaranteed, to be current and accurate. Copyright © 2005-2010 Valence Technology, Inc.

Tell us about your application by visiting: [www.valence.com/css](http://www.valence.com/css)

Oct 2010  
XP Datasheet

### 3- Connaissances nouvelles à acquérir par la résolution de cette problématique

Connaissances déclaratives : Quoi

- Alimentations disponibles en CA et CC.
- Semi-conducteurs de forte puissance
  - o Diode : description, caractéristiques  $I(V)$ , condition à l'amorçage et au blocage, fréquence d'opération, plage de puissance.
  - o Thyristors : description, caractéristiques  $I(V)$ , condition à l'amorçage et au blocage, fréquence d'opération, plage de puissance.
  - o IGBT : description, caractéristiques  $I(V)$ , condition à l'amorçage et au blocage, fréquence d'opération, plage de puissance.
  - o Diodes de puissance : charge de recouvrement, dissipation de puissance associée à la charge de recouvrement.
- Topologies de conversion de puissance
  - o Alimentation CA :
    - Redresseurs à commutation naturelle à diodes (monophasé et triphasé);
    - Redresseurs à thyristors (monophasé et triphasé);
    - Onduleurs à thyristors (commutation naturel et forcé).
  - o Alimentation CC : hacheurs 1 quadrant, 2 quadrants, 4 quadrants. Topologie à commutation forcée. Topologie à commutation naturelle.

Connaissances procédurales : Comment

- Procédure pour calculer valeur efficaces et moyennes pour tension et courant;
- Procédure pour dimensionner un bloc batterie;
- Procédure pour effectuer la simulation de convertisseur d'électroniques de puissance AC/DC; DC/DC et DC/AC;
- Procédure pour dimensionner les dissipateurs thermiques en électronique de puissance.

Connaissance conditionnelle : Quand

- Utiliser les diverses topologies de convertisseur d'électronique de puissance pour implémenter des chaînes de conversion de l'énergie.

## 4- Références obligatoires à consulter

**Obligatoire :** volume « Électronique de puissance. Cours, études de cas et exercices corrigés, 3<sup>e</sup> édition », Luc Lasne. Dunod, 2020.

Première semaine: I à III de ce guide (104 pages à lire)  
Deuxième semaine : IV à VII de ce guide (92 pages à lire)

### PREMIÈRE SEMAINE (84 pages à lire)

#### **I – Généralités sur les convertisseurs d’électronique de puissance**

LIRE LES SECTIONS SUIVANTES dans « Électronique de puissance » de Luc Lasne (28 pages)

- Chapitre 1 : pp. 1-11
- Chapitre 2 : pp. 13-29

#### **II – Conversion AC/DC**

LIRE LES SECTIONS SUIVANTES dans « Électronique de puissance » de Luc Lasne (33 pages)

- Chapitre 4 : pp. 40-55
- Chapitre 5 : pp. 56-72

*Résoudre les problèmes suivants :*

Chapitre 12

Répondre aux questions des sections 12.1 – 12.6, pp. 229-233. Solutions à la page 233-246.

#### **III – Conversion DC/DC**

LIRE LES SECTIONS SUIVANTES dans « Électronique de puissance » de Luc Lasne (43 pages)

- Chapitre 7 : pp. 87-130

*Résoudre les problèmes suivants :*

Chapitre 13

Répondre aux questions des sections 13.1 – 13.4, pp. 247-254. Solutions à la page 254-266.

On-line tutorials:

- <https://www.youtube.com/watch?v=SIE-T67Y3-E>
- <https://www.youtube.com/watch?v=Qg-acrbWKQk>
- [https://www.youtube.com/watch?v=n0\\_8am0iMzo](https://www.youtube.com/watch?v=n0_8am0iMzo)

## DEUXIÈME SEMAINE (92 pages à lire)

### **IV – Conversion DC/AC**

LIRE LES SECTIONS SUIVANTES dans « Électronique de puissance » de Luc Lasne (21 pages)

- Chapitre 8 : pp. 131 - 151

### **V – Synthèse des convertisseur statiques**

LIRE LES SECTIONS SUIVANTES dans « Électronique de puissance » de Luc Lasne (28 pages)

- Chapitre 9 : pp.161-188

### **VI – Pertes et évacuation thermique**

LIRE LES SECTIONS SUIVANTES dans « Électronique de puissance » de Luc Lasne (25 pages)

- Chapitre 10 : pp. 189-213

*Résoudre les problèmes suivants :*

Chapitre 14

Répondre aux questions des sections 14.1 – 14.5, pp. 269-274. Solutions à la page 274-285.

### **VII – Redresseur PD2 sur différents types de charges**

LIRE LES SECTIONS SUIVANTES dans « Électronique de puissance » de Luc Lasne (18 pages)

- Chapitre 12 : pp. 229-246

## 5- Activités liées à la problématique

### 1. 1<sup>re</sup> Semaine

- Première rencontre de Tutorat (lundi, **obligatoire**)
- Étude personnelle
- Formation à la pratique de laboratoire : Séminaire (mardi AM, **obligatoire**)
- Formation à la pratique Procédurale 1 – Conversion AC/DC - (mardi PM, recommandée)
- Laboratoire : « Redressement monophasé double alternance non-commandé et semi-commandé avec diode de roue-libre » au **C1-2055** (mercredi AM ou mercredi PM, ou encore vendredi AM, **obligatoire**).
- Formation à la pratique Procédurale 2 – Conversion DC/DC (vendredi PM, recommandée)
- Étude personnelle

### 2. 2<sup>e</sup> Semaine

- Consultation facultative sur la problématique (lundi AM).
- Laboratoire au C1-3016 (mardi PM, **obligatoire**). Simulation supervisée.
- Deuxième rencontre de Tutorat (mercredi, **obligatoire**)
- Rédaction finale du rapport d'APP décrivant les étapes suivies pour résoudre la problématique (**obligatoire**).
- Étude personnelle
- Évaluation formative
- Consultation de préparation à l'évaluation sommative (lundi AM, recommandée)
- Évaluation sommative (lundi PM, **obligatoire**)

## 6- Livrables

### **Livrable 1 : compte-rendu du laboratoire**

À remettre : en format électronique

Quand : 48 heures après la séance de laboratoire (selon le groupe)

Lieu : Sur le site de la session S3e, sous « Dépôt des travaux ».

Le compte-rendu de laboratoire a le format suivant : il s'agit uniquement de répondre aux questions énoncées dans le guide du laboratoire et d'inclure tous les résultats de mesure. Ce rapport devra contenir au maximum 10 pages. Le nom du fichier devra être : « GEL331-Lab-Ex-vosCIP », où x sera le numéro de votre équipe.

### **Livrable 2 : rapport de résolution de la problématique**

À remettre : en format électronique

Quand : **jeudi le 22 juin.**

Heure limite: **23h59.**

Lieu : Sur le site de la session « Dépôt des travaux ».

Le rapport de la résolution de la problématique a le format suivant : il s'agit uniquement de répondre aux questions énoncées dans le guide étudiant et d'inclure tous les résultats de simulation. Ce rapport devra contenir au maximum 20 pages. Le nom du fichier devra être : « GEL331-Prob-Ey-vosCIP », où y sera le numéro de votre équipe.

## 7- Formation à la pratique procédurale (1<sup>re</sup> semaine)

### Buts de l'activité

- 1- Représenter les formes d'onde des tensions et courants à l'entrée et à la sortie d'un redresseur à thyristors monophasé;
- 2- Déterminer la valeur moyenne de la tension et courant de sortie d'un redresseur à thyristors monophasé sur charge RL;
- 3- Calculer l'amplitude du courant du côté réseau pour un redresseur à thyristors monophasé sur charge RL;
- 4- Déterminer l'angle de retard à l'amorçage pour redresseur monophasé et triphasé à thyristor;
- 5- Déterminer la valeur moyenne de la tension et courant de sortie d'un redresseur à thyristors monophasé sur charge RLE;
- 6- Calculer le facteur de puissance d'un circuit redresseur monophasé ;
- 7- Représenter les formes d'onde des tensions et courants à l'entrée et sortie d'un redresseur à thyristors monophasé avec diode de roue libre ;
- 8- Déterminer la valeur moyenne de la tension et courant de sortie d'un redresseur à thyristors monophasé avec diode de roue libre sur charge R;
- 9- Déterminer la valeur moyenne de la tension et courant de sortie d'un redresseur à thyristors triphasé sur charge R;

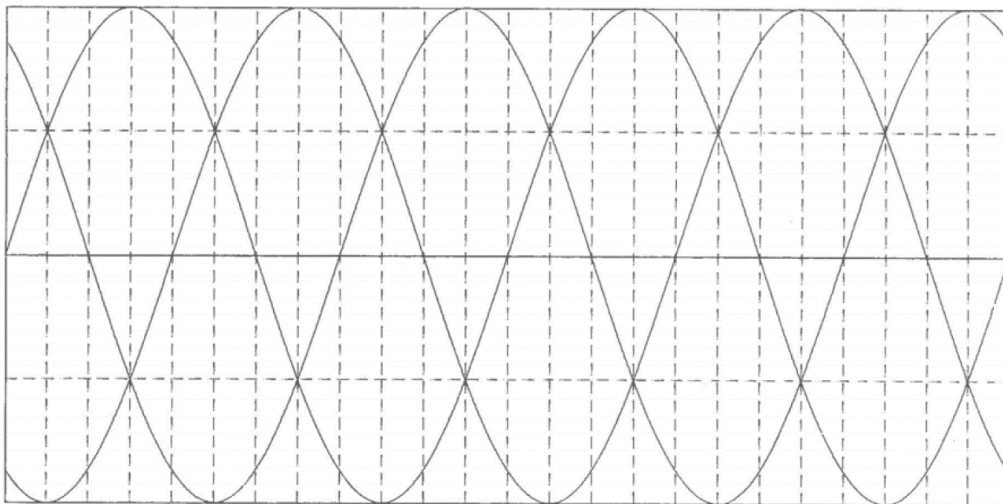
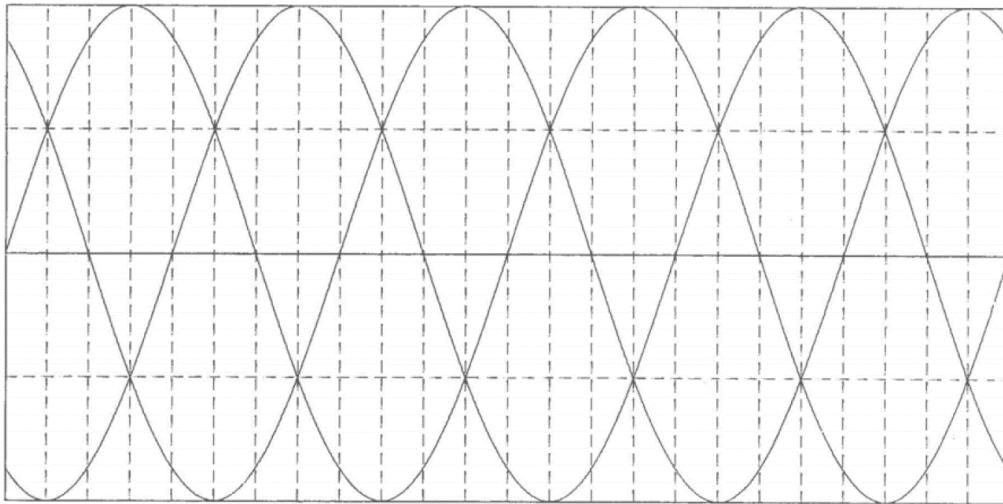


## 7.1- Énoncés des problèmes à résoudre

### Problème n° 1

Un redresseur monophasé à thyristors en pont (4 thyristors) est alimenté par une source de tension efficace 120 V et de fréquence 60 Hz. La sortie du pont redresseur à thyristor alimente une charge RL, avec  $R = 8 \Omega$  et L tel que le courant  $i_L(t) = I_L = 10 A$  soit constant. L'angle d'amorçage est configuré pour  $\alpha = 30^\circ$ :

- a) Représenter sur le graphique les formes d'onde :  $v_s(t)$ ,  $v_L(t)$ ,  $i_s(t)$  et  $i_L(t)$  (utiliser des couleurs différentes);



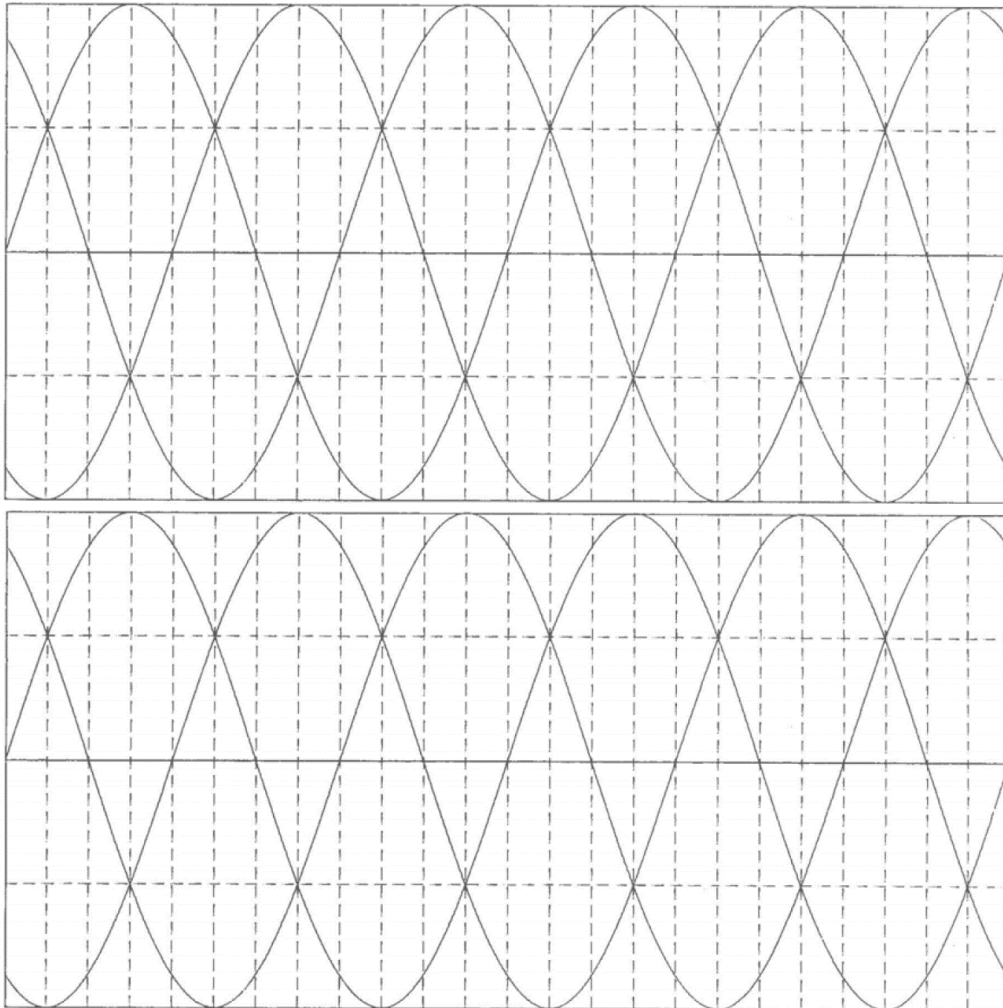
Déterminer :

1. La tension moyenne aux bornes de la charge;
2. La puissance dissipée dans la charge;
3. Le courant efficace fourni par le réseau;
4. L'amplitude du courant sur le réseau;

## **Problème n° 2**

Pour implémenter un chargeur de batterie, un redresseur monophasé à thyristor avec diodes de roue libre a été retenu. Le bloc batterie doit être chargé à une tension DC de 116,8 V et un courant constant de 2 A pour réaliser une recharge ultra-lente. Pour modéliser la résistance interne du bloc batterie durant la phase de recharge, une résistance de  $0.12\ \Omega$  doit être considérée. Utilisant le réseau 240 V, 60 Hz, déterminer:

1. La valeur minimale de la bobine à mettre en série avec le bloc batterie pour assurer un courant constant;
2. L'angle alpha qui permettra une sortie en tension de 100 V et un courant de 2 A;
3. Le facteur de puissance vu du réseau;
4. Représenter sur le graphique les tensions d'entrée et de sortie du convertisseur, bien comme le courant d'entrée;
5. Déterminer le nombre de module de batterie de 12 V (Valence U1-12XP) à mettre en série et parallèle pour alimenter une charge de 4 kW durant 30 min après une recharge à sa pleine capacité (considérer seulement la possibilité d'une variation maximale de tension de 5% durant le fonctionnement sur la charge).

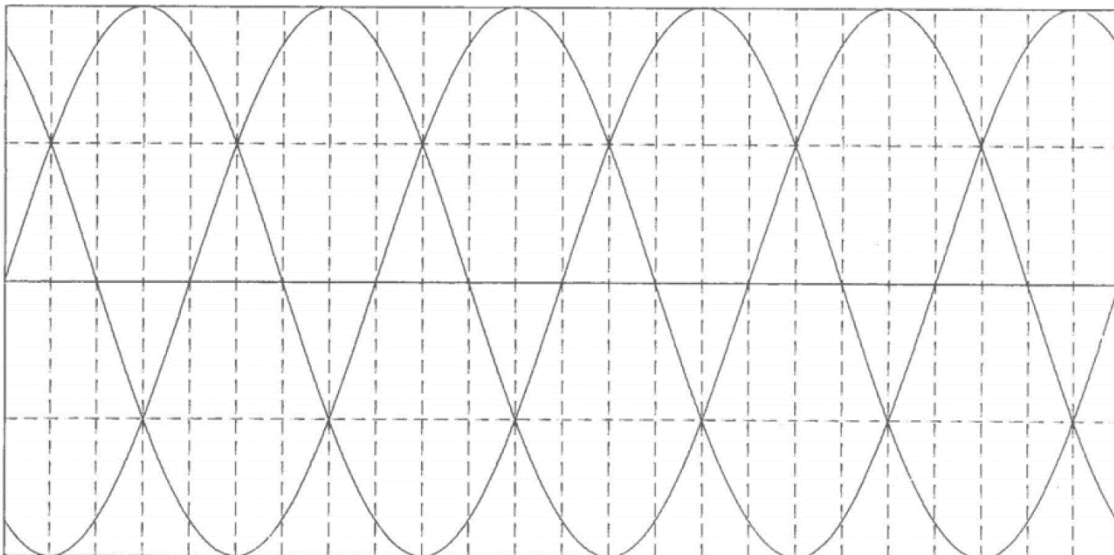
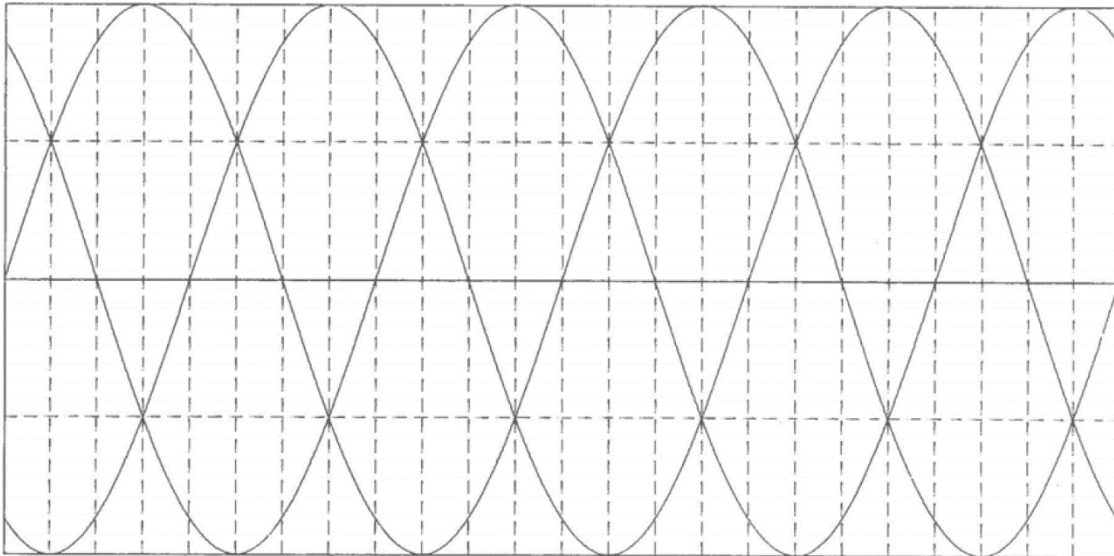


### Problème n° 3

Un redresseur monophasé à thyristors en pont avec diodes de roue libre est alimenté par une source de tension efficace 208 V et de fréquence 60 Hz. La sortie du pont redresseur à thyristors alimente une charge très inductive, avec  $R = 8 \, \Omega$  et  $L$  tel que le courant  $i_L(t) = I_L = 5 \, A$  soit constant. L'angle d'amorçage est configuré pour  $\alpha = 45^\circ$ . Déterminer:

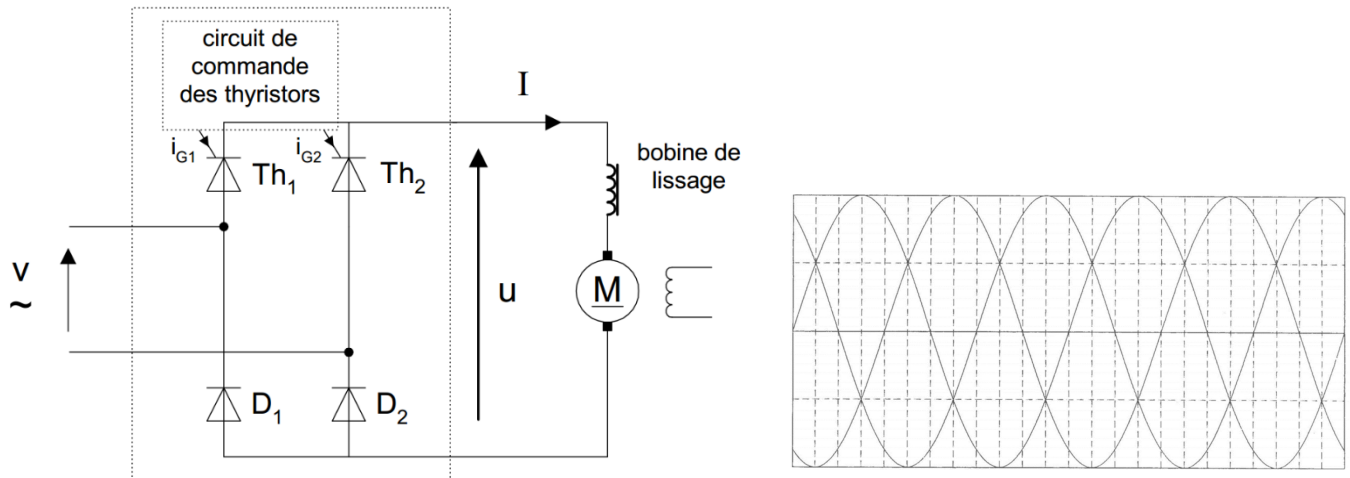
1. La tension moyenne aux bornes de la charge;
2. Le taux d'ondulation de la tension à la sortie du pont;
3. Le facteur de puissance vu du réseau;

Représenter sur le graphique les formes d'onde :  $v_s(t)$ ,  $v_L(t)$ ,  $i_s(t)$  et  $i_L(t)$  (utiliser des couleurs différentes);

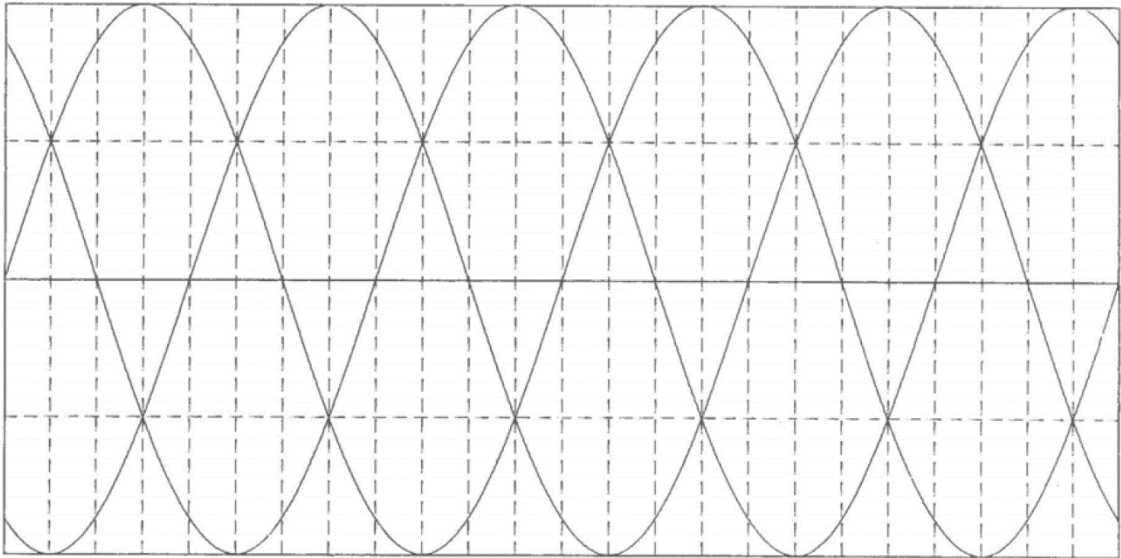
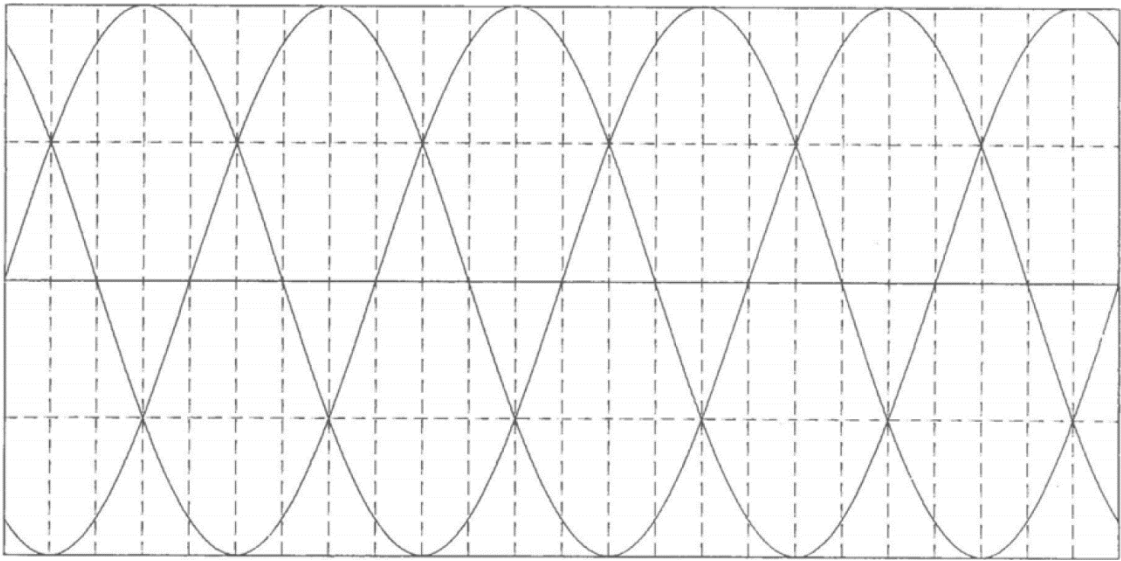


#### Problème n° 4 :

Un pont mixte monophasé alimente un moteur à courant continu à excitation indépendante et constante. Il délivre une tension  $u$  de valeur moyenne  $u = 169 \text{ V}$ , l'angle  $\alpha$  de retard à l'amorçage des thyristors étant réglé à  $45^\circ$ . Le courant dans le moteur est parfaitement lissé par une bobine de résistance interne  $r = 0,1 \Omega$ . Son intensité  $I$  est égale à  $25 \text{ A}$ . La vitesse de rotation du moteur est de  $1800 \text{ RPM}$ . La résistance de l'induit du moteur est  $R = 0,4 \Omega$ . Le pont est alimenté avec une tension sinusoïdale  $v$  de fréquence  $60 \text{ Hz}$ .



1. Représenter sur le graphique en concordance de temps la tension  $u(t)$  et la tension  $v(t)$ . Préciser les intervalles de conduction de chaque thyristor et de chaque diode;
2. Calculer la valeur efficace de la tension  $v$ ;
3. Calculer la f.e.m. du moteur.
  - a. En déduire la puissance électromagnétique  $P_{em}$  du moteur.
  - b. Calculer aussi la puissance absorbée par l'induit du moteur.
4. La charge du moteur variant et son couple électromagnétique  $T_{em}$  est doublé.
  - a. Que devient la f.e.m. du moteur ?
  - b. En déduire la vitesse de rotation. Commentaire ?



**Problème n° 5 :**

Un redresseur monophasé à diodes en pont (4 diodes) est alimenté par une source de tension AC de valeur efficace 120 V et de fréquence 60 Hz. La sortie du pont à diodes alimente une charge résistive  $R = 10 \, \Omega$ . Déterminer :

1. La tension moyenne aux bornes de la charge;
2. L'ondulation de tension aux bornes de la charge;
3. Le taux d'ondulation de la tension (en %);
4. La puissance dissipée dans la résistance;
5. La puissance dissipée dans chacune des diodes en considérant une chute de 0.7V aux bornes des diodes lorsque celles-ci conduisent;
6. Le rendement du redresseur à diodes (en %);
7. La tension maximale que devra supporter les diodes en inverse;
8. Le courant maximal que devra supporter les diodes en conduction.

**Problème n° 6 :**

On ajoute un condensateur C au redresseur monophasé du problème précédent. Déterminer :

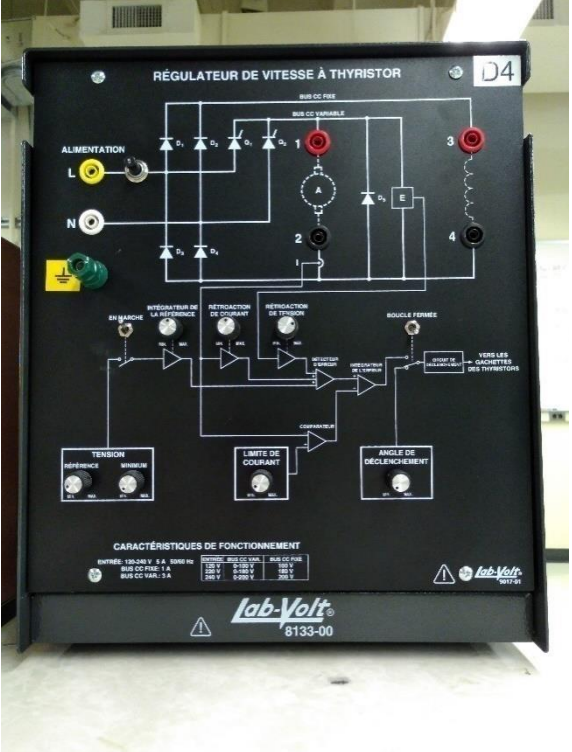
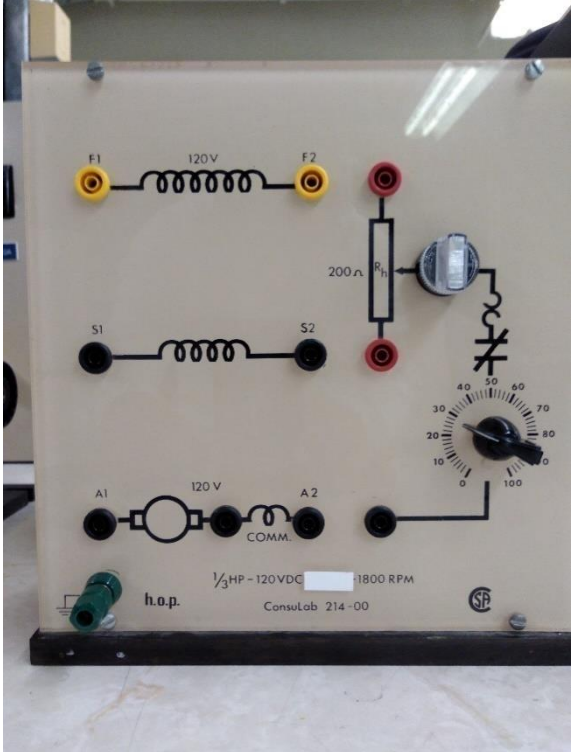
1. La valeur de C permettant de réduire l'ondulation de sortie à 5% de la valeur maximum de la tension de sortie;
2. Le temps de conduction  $t_{on}$  des diodes;
3. Le courant maximal que devra supporter les diodes en conduction.

## 8- Laboratoire 1 :

### Redressement monophasé double alternance non-commandé et semi-commandé avec diode de roue-libre

**Objectif :** Faire l'étude du redressement et du filtrage d'un signal alternatif, de réaliser des circuits de redressement en double alternance, et d'analyser l'évolution de la tension et du courant de sortie du convertisseur avec charges passive (RL) et active (RLE).

#### Équipements :

Redresseurs double alternance non-commandé et semi-commandé	Machine DC – Charge RL et RLE
	

#### Procédure :

##### 1. Redresseur double alternance à diodes

a. Manipulation n° 1 : Débit sur une charge passive RL

Brancher le redresseur PD2 non-commandé (3-4) sur l'inducteur de la machine DC (F1-F2).

b. Travail à effectuer

- Avec un oscilloscope et sonde de tension isolée, visualiser et relever, la tension d'entrée et de sortie du convertisseur. En déduire la tension aux bornes de D1.
- Calculer théoriquement la valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge
- Avec un oscilloscope et sonde de courant, visualiser et relever, le courant d'entrée et de sortie du convertisseur. En déduire le courant traversant D1.
- Calculer théoriquement la valeur efficace du courant d'alimentation.

- Avec les oscillogrammes de la tension et du courant de charge, déduire la valeur de l'inductance de l'inducteur.
- Commenter les résultats obtenus et discuter l'action de la bobine L dans un tel circuit.
- Mesurer avec un ohmmètre la résistance de charge (R).

## 2. Redresseur double alternance semi-commandé avec diode de roue-libre

a. Manipulation n° 2 : Débit sur une charge passive RL

Brancher le redresseur PD2 commandé (1-2) sur l'inducteur de la machine DC (F1-F2). Réguler l'angle de déclenchement à son maximum.

b. Travail à effectuer :

- Avec un oscilloscope et sonde de tension isolée, visualiser et relever, la tension d'entrée et de sortie du convertisseur. En déduire la tension aux bornes de Q1.
- Calculer théoriquement la valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge
- Avec un oscilloscope et sonde de courant, visualiser et relever, le courant d'entrée et de sortie du convertisseur. En déduire le courant traversant Q1.
- Calculer théoriquement la valeur efficace du courant de la charge
- Commenter les résultats obtenus et discuter l'action de la diode de roue-libre D5 dans un tel circuit.

## 3. Redresseur double alternance semi-commandé avec diode de roue-libre

a. Manipulation n° 3 : Débit sur une charge active RLE

Brancher le redresseur PD2 non-commandé (3-4) sur l'inducteur de la machine DC (F1-F2). Connecter le redresseur PD2 commandé (1-2) sur l'armature de la machine DC (A1-A2).

b. Travail à effectuer :

- Avec un oscilloscope et sonde de tension isolée, visualiser et relever, la tension d'entrée et de sortie du convertisseur. En déduire la tension aux bornes de Q1.
- Calculer théoriquement la valeur moyenne de la tension aux bornes de la charge
- Avec un oscilloscope et sonde de courant, visualiser et relever, le courant d'entrée et de sortie du convertisseur. En déduire le courant traversant Q1.
- Commenter les résultats obtenus et discuter l'action de la diode de roue-libre D5 dans un tel circuit.
- Mesurer avec un ohmmètre la résistance de charge (R).
- Mesurer la tension E avec un voltmètre et la vitesse de rotation du moteur à courant continu avec un tachymètre.
- Déterminer l'inductance L à partir des oscillogrammes relevés.



## 9- Formation à la pratique procédurale (2<sup>e</sup> semaine)

### **Buts de l'activité**

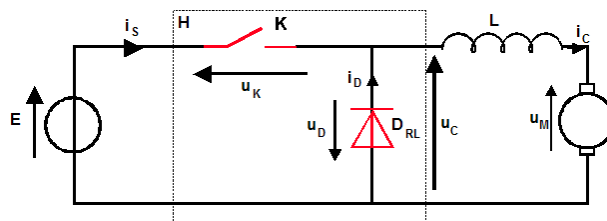
- Visualiser et Analyser les allures des tensions aux différents points du circuit des topologies d'hacheur.
- Visualiser et Analyser l'évolution de la tension et du courant d'un hacheur série et parallèle à transistor avec charges résistive, résistive et inductive, et avec FEM.
- Déterminer la caractéristique  $u_C = f(\alpha)$ .
- Déterminer la valeur moyenne et efficace d'un hacheur série sur charge résistive, résistive et inductive, et avec FEM.
- Déterminer la valeur moyenne et efficace d'un hacheur parallèle sur charge résistive, résistive et inductive, et avec FEM.
- Pertes dans les convertisseurs DC/DC.

## 9.1- Énoncés des problèmes à résoudre

### Problème n° 1 – Hacheur série

On alimente un moteur à courant continu (charge du type RLE) dont le schéma équivalent est donné ci-dessous, à l'aide d'un hacheur. L'interrupteur K et la diode sont supposés parfaits. La période de hachage est  $T$ , le rapport cyclique  $\alpha$ . L'inductance  $L$  du bobinage de l'induit du moteur a une valeur suffisante pour que la forme du courant dans l'induit soit pratiquement continue. L'hacheur est alimenté par une tension continue  $E = 220 \text{ V}$ . La FEM  $E'$  du moteur est liée à sa vitesse de rotation  $n$  par la relation :

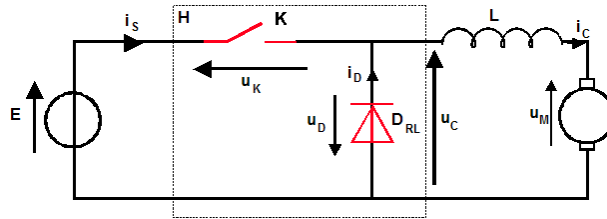
$E' = 0,20 \cdot n$ , avec  $E'$  en V et  $n$  en tr/min. L'induit a pour résistance  $R = 2,0 \, \Omega$ .



1. Étude de la tension  $u_c$  pour  $\alpha = 0,8$ .
  - a. Représenter, en la justifiant, l'allure de la tension  $u_c$ . On prendra comme instant d'origine celui où l'interrupteur K se ferme.
  - b. Déterminer l'expression littérale de la valeur moyenne de la tension  $u_c$ , en fonction de  $E$  et du rapport cyclique  $\alpha$ .
  - c. Calculer sa valeur numérique.
2. Fonctionnement du moteur pour  $\alpha = 0,8$ . Le moteur fonctionne en charge, la valeur moyenne du courant d'induit est  $I_c = 10 \text{ A}$ . Déterminer  $E'$  et en déduire la vitesse  $n$ .
3. Le dispositif de commande de l'hacheur est tel que le rapport cyclique  $\alpha$  est proportionnel à une tension de commande  $u_{com}$  :  $\alpha = 100 \%$  pour  $u_{com} = 5 \text{ V}$ . Tracer la caractéristique la tension moyenne  $u_c$  en fonction de  $u_{com}$ .

## Problème n° 2 – Hacheur série

Un moteur à courant continu travaillant à couple constant est inclus dans le montage ci-dessous:



L'hacheur fonctionne à une fréquence  $f = 500 \text{ Hz}$ .

L'interrupteur K est fermé lorsque  $0 < t < \alpha T$  et ouvert entre  $\alpha T$  et  $T$ .

La diode est supposée parfaite.

L'inductance de la bobine de lissage L est de valeur suffisante pour que le courant dans le moteur soit considéré comme constant :  $i = I = \text{cte}$ .

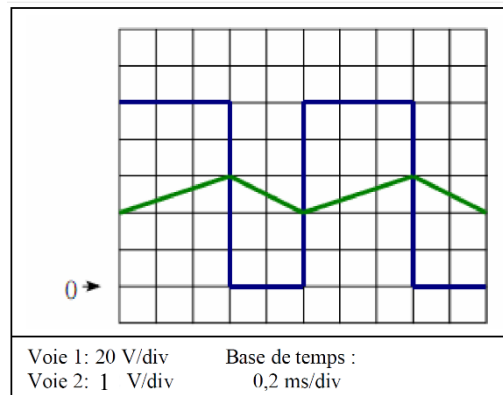
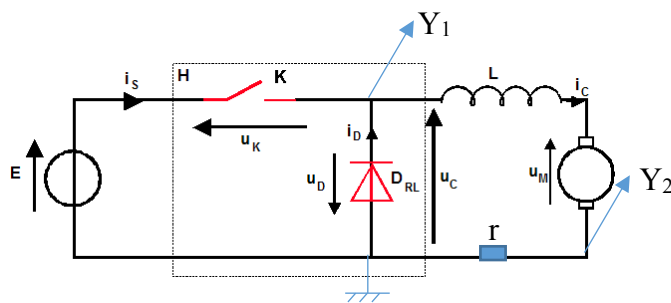
La résistance de l'induit du moteur est :  $R = 1 \, \Omega$ .

1. Représenter les allures de  $u_c$  et  $u_K$  en fonction du temps.
2. Exprimer la valeur moyenne de  $u_c$  en fonction de E et  $\alpha$ .
3. Représenter les allures de  $i_K$  et  $i_D$  en fonction du temps.
4. Exprimer les valeurs moyennes des courants  $i_K$  et  $i_D$  en fonction de  $I_c$  et  $\alpha$ .
5. Déterminer l'intensité  $I_c$  du courant dans le moteur en fonction de E,  $E'$ , R et  $\alpha$ .
6. Application numérique : Calculer la valeur moyenne de  $u_c$ ,  $i_c$  et  $i_D$  pour  $E = 220 \text{ V}$ ,  $E' = 145 \text{ V}$  et  $\alpha = 0,7$ .
7. Établir la relation liant la vitesse n du moteur (en tr/min) à  $\alpha$  pour  $E = 0,153 \text{ n}$ , sachant que  $R = 1 \, \Omega$ ,  $E = 220 \text{ V}$  et  $I_c = 9 \text{ A}$ .
8. Tracer n en fonction de  $\alpha$ .

### Problème n° 3 – Hacheur série

Un hacheur série alimente un moteur à courant continu. Imaginer l'utilisation d'un oscilloscope bi courbes dont deux voies sont branchées comme indiqué sur le schéma ci-dessous. La résistance  $r$  a pour valeur  $1\ \Omega$ .

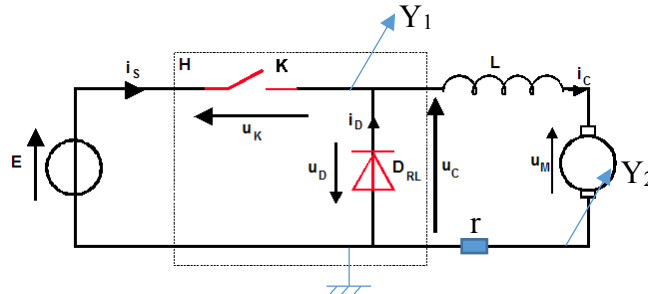
1. A partir de ce schéma, préciser ce que visualise la voie 1 et la voie 2 de l'oscilloscope sur l'oscillogramme ci-dessous.
2. Quel est l'intérêt d'utiliser une résistance  $r$  ?
3. Déterminer la valeur de la fréquence de hachage.
4. Déterminer la valeur de duty-cycle.
5. Déterminer la valeur de la FEM  $E'$  de la machine.
6. Dédire la valeur de la tension moyenne  $U_C$ .
7. Déterminer la valeur  $I_{Cmax}$ .



8. Déterminer la valeur  $I_{Cmin}$
9. En déduire la valeur moyenne du courant  $I_C$ .
10. Établir l'expression de l'équation de fonctionnement de la charge et en déduire l'expression de la valeur moyenne  $U_C$  en fonction de la valeur moyenne de  $I_C$ , de  $R$  et  $E'$ .
11. Pour le moteur à courant continu, on considère que  $R=1\ \Omega$ . En déduire l'expression de  $E'$  en fonction du duty-cycle et de  $E$  et en déduire la FEM  $E'$ .
12. On admet que pour ce moteur,  $E'=k.n$ . L'oscillogramme a été relevée pour une vitesse  $n=1200\ \text{tr/min}$ . Déterminer la valeur de  $k$  et préciser son unité.
13. On désire maintenant que la vitesse de rotation du moteur soit de  $n=1600\ \text{tr/min}$ . Calculer la nouvelle valeur de  $E'$ .
14. En déduire la nouvelle valeur de duty-cycle qu'il faut pour obtenir cette vitesse de rotation.

### Problème n° 4 – Hacheur série

Un hacheur série alimente un moteur à courant continu. Imaginer l'utilisation d'un oscilloscope bi courbes dont deux voies sont branchées comme indiqué sur le schéma ci-dessous. La résistance  $r$  a pour valeur  $1\ \Omega$ .

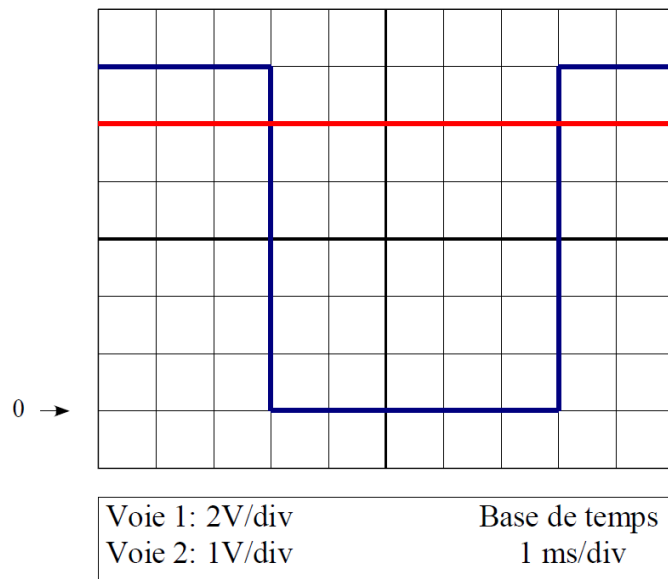


1. Quel est le rôle de la diode D?
2. Quel est le rôle de l'inductance L?

Pour la suite du problème, le montage a les caractéristiques suivantes :

Fréquence de hachage  $f=125\text{Hz}$ ,  $E=12\text{V}$ ,  $\alpha=0,375$ , l'inductance  $L$  est suffisamment grande pour considérer le courant  $i_C$  parfaitement lissé et  $i_C=I_C = 0,5\text{A}$ .

3. Dans l'oscillogramme ci-dessous, représenter la tension  $u_C$  (voie 1 de l'oscilloscope) et l'image du courant  $r.i_C$  (voie 2 de l'oscilloscope). Placer aussi les instants  $\alpha T$  et  $T$ .



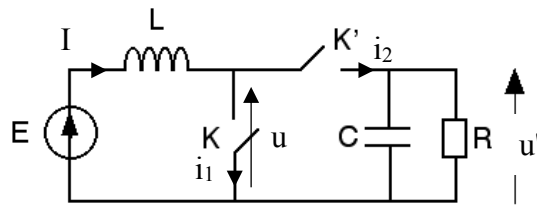
4. Pour 0 et  $T$ , représenter le schéma de fonctionnement, indiquant les valeurs de  $i_S$ ;  $u_K$ ;  $i_D$ ;  $u_D$ ;  $i_C$  et  $u_C$ .
5. Pour  $\alpha T$  et  $T$ , représenter le schéma de fonctionnement, indiquant les valeurs de  $i_S$ ;  $u_K$ ;  $i_D$ ;  $u_D$ ;  $i_C$  et  $u_C$ .

### Problème n° 5 – Hacheur série

Une charge RLE est pilotée par un hacheur du type série (voir schéma problème n° 1). Considérant une résistance de charge de  $0,25 \Omega$ , une inductance de  $20 \text{ mH}$ , une tension d'alimentation de  $600 \text{ V}$  et une batterie de  $150 \text{ V}$  et une fréquence de commutation de  $250 \text{ Hz}$  :

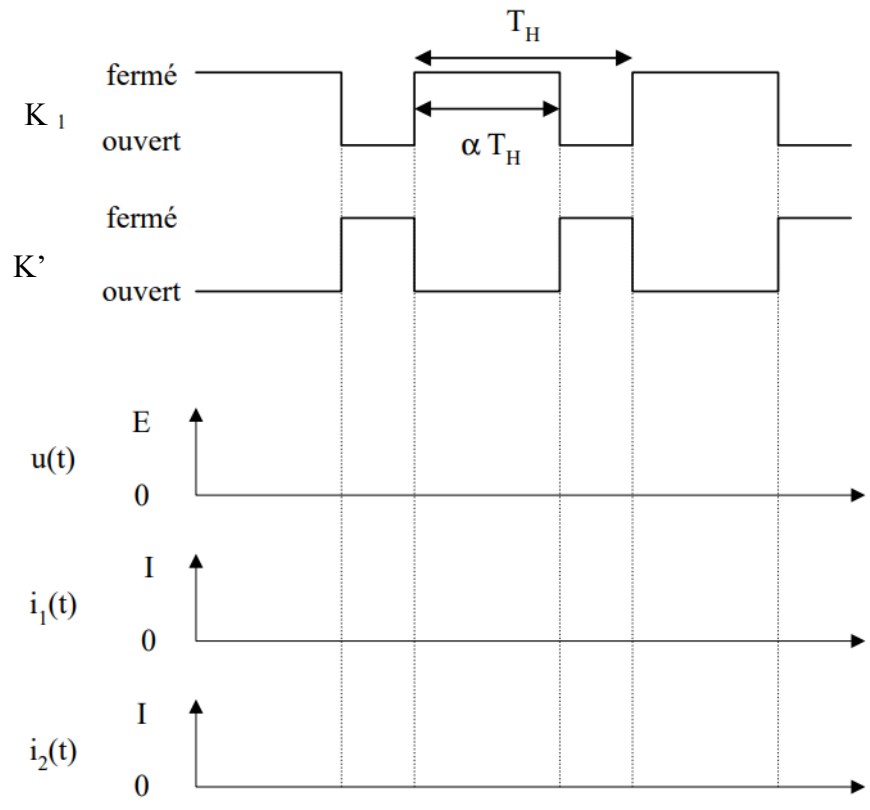
- Déterminer pour un rapport cyclique  $\alpha$  de  $0,2$  et  $0,5$  :
  - Le courant de charge minimum et maximum ;
  - Le courant moyen injecté dans la charge
- L'amplitude de l'oscillation du courant pour  $\alpha=0,5$ .

### Problème n° 6 – Hacheur parallèle



Les deux interrupteurs électroniques sont supposés parfaits.

- On donne les séquences de conduction de K et K'. Compléter les chronogrammes :



- Donner la relation entre la tension moyenne  $u(t)$ ,  $\alpha$  et  $u'(t)$ .

### **Problème n° 7 – Hacheur parallèle**

Un hacheur parallèle du type de celui du problème n° 6 est utilisé pour contrôler le flux de puissance d'une source DC de 110 V vers un bloc batterie de 220V. Le flux de puissance transféré vers la batterie est de 30 kW. L'oscillation du courant dans la bobine peut être considérée négligeable.

Déterminer :

- a) Le rapport cyclique  $\alpha$  ;
- b) La résistance équivalente de charge pour la puissance transférée ;
- c) Le courant moyen d'entrée ;
- d) Représenter le courant dans la bobine et qui recharge la batterie, quand l'inductance a une valeur de 7,5 mH, une fréquence de commutation de 250 Hz et un rapport cyclique de 0,5.

### **Problème n° 8 – Module convertisseur DC/DC**

Un convertisseur DC/DC possède les caractéristiques suivantes :

- Puissance utile (max.) : 2 W
- Tension d'entrée (continue) : 4,5 à 9 V
- Tension de sortie (continue) : 12 V
- Rendement : 75 %
- Fréquence de commutation : 250 kHz

1. Calculer le courant de sortie maximal.
2. A puissance utile maximale, calculer la puissance thermique dissipée par le convertisseur.
3. On applique 5 V en entrée. Calculer le courant d'entrée maximal.

¶

Considérant la topologie du convertisseur DC/DC du Problème n° 6 :

4. Donner la puissance thermique dissipée dans K en utilisant les données suivantes
  - a. Pour K :
$$T_{ON} = T_{OFF} = 300 \text{ ns}$$
$$R_{on} = 125 \text{ m}\Omega$$
  - b. Calculer la résistance thermique du radiateur pour une température maximale de la puce du K de 75°C et un fonctionnement à une température ambiante de 25°C.

## 10- Laboratoire 2 :

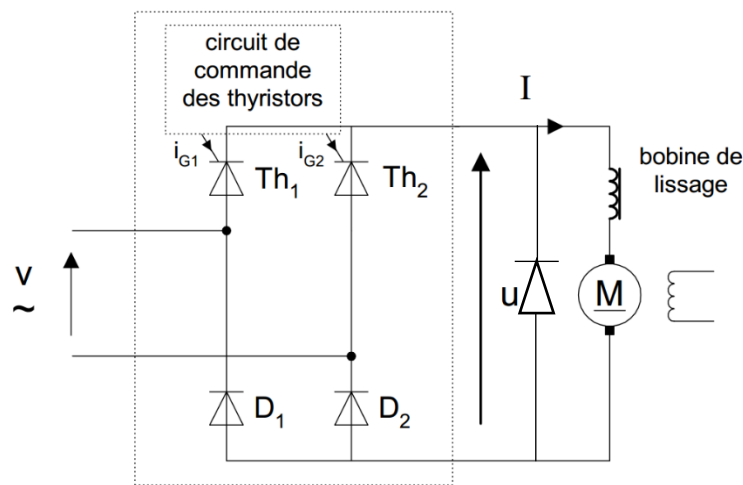
### Redressement monophasé double alternance et semi-commandé avec diode de roue-libre

**Objectif :** Faire l'étude et la simulation du redressement monophasé double alternance semi-commandé avec diode de roue libre, alimentant une machine à courant continu à flux constant.

#### 1. Redresseur double alternance semi-commandé avec diode de roue-libre

a. Machine à courant continu à flux constant (excitation constante)

Simuler le redresseur de la manipulation 3 du laboratoire avec la valeur de FEM mesurée.



b. Travail à effectuer :

- Afficher les chronogrammes de la tension et du courant de charge, pour le même  $\alpha$  qu'ajuster en laboratoire (même valeur de FEM).
- Afficher le chronogramme du courant dans la diode de roue-libre. Commenter.
- Donner les intervalles de conduction des interrupteurs.
- La tension de charge est-elle sinusoïdale ? Alternative ?
- Quelle est sa période ?, sa fréquence ?
- Mesurer la valeur moyenne de la tension de la charge.

En annexe de votre rapport de la problématique, ajouté une page pour répondre aux questions ci-dessus.



## 11- Évaluation de l'unité

Les évaluations (sommative et finale) porteront sur tous les objectifs d'apprentissage de l'unité. Les évaluations sommative et finale se feront avec comme seule documentation possible, un résumé écrit à la main de 2 pages maximum (photocopies interdites).

La note attribuée aux activités pédagogiques de l'unité est une note individuelle. L'évaluation portera sur les compétences figurant dans la description des activités pédagogiques. Ces compétences, ainsi que la pondération de chacune d'entre elles dans l'évaluation de cette unité, sont :

Activités et éléments de compétence		Qualités	Rapport Problématique	Compte-rendu Laboratoires	Examen sommatif	Examen final	Total par qualité	Total par compétence
GEL-331 Électronique de puissance								
1	Analyser et simuler le fonctionnement d'un convertisseur d'électronique de puissance ;	Q01	10		50	50	110	300
		Q02	30	10	50	60	150	
		Q05	20	20			40	
2	Concevoir un convertisseur d'électronique de puissance.	Q01	10		50	50	110	300
		Q02	20	10	50	60	140	
		Q05	30	20			50	
Total : GEL331			120	60	200	220		600
GEL-362 Thermique								
1	Appliquer les notions d'échange de chaleur au refroidissement des dispositifs et des systèmes en électrotechnique	Q01	15		30	30	75	150
		Q02	15		30	30	75	
Total : GEL362			30		60	60		150

Comme indiqué à la section 1, l'activité GEL 331 comprend 2 éléments de compétences qui sont désignés par 1 et 2. Il y a trois livrables, rapport de la problématique, rapport de laboratoire et la validation.

Les qualités et critères du BCAPG concernant cet APP :

- Qualité 1 (Q1) connaissances en génie.

- Qualité 01 (Q1\_2) connaissances dans le champ de l'analyse de problèmes en lien avec les convertisseurs statiques ;
- Qualité 01 (Q1\_5) connaissance dans le champ de l'utilisation d'outils d'ingénierie en lien avec les convertisseurs statiques ;
- Qualité 2 (Q2) analyse de problèmes.
  - Qualité 02 (Q2\_1) définir un problème appliquant des connaissances de convertisseurs statiques ;
  - Qualité 02 (Q2\_3) énoncer les objectifs à atteindre pour résoudre le problème en lien avec les convertisseurs statiques ;
  - Qualité 02 (Q2\_5) mettre en œuvre la solution retenue pour viabiliser l'application de convertisseurs statiques ;
  - Qualité 02 (Q2\_6) analyser et interpréter les résultats obtenus pour justifier l'application de convertisseurs statiques ;
- Qualité 5 (Q5) utilisation d'outils d'ingénierie.
  - Qualité 05 (Q5\_1) sélectionner les techniques, ressources et outils appropriés pour réaliser une tâche dans le domaine des convertisseurs statiques ;
  - Qualité 05 (Q5\_2) utiliser les techniques, ressources et outils sélectionnés selon les protocoles établis dans le domaine des convertisseurs statiques ;
  - Qualité 05 (Q5\_3) connaître les limites des techniques, ressources et outils sélectionnés dans le domaine des convertisseurs statiques ;

### 11.1- Rapport de la problématique

<b>Q1 : Critère 5. Connaissances dans le champ de l'utilisation d'outils d'ingénierie en lien avec les convertisseurs statiques</b>	<b>20 pts</b>
...utilise des connaissances dans le champ permettant une bonne utilisation des outils d'ingénierie.	100%
...utilise correctement ses connaissances dans le champ pour adapter les outils d'ingénierie à des problèmes complexes, mais qui sont analogues à des problèmes déjà vu.	85%
... utilise correctement ses connaissances dans le champ pour adapter les outils d'ingénierie à des problèmes simples, mais qui sont nouveaux pour lui.	60%
... n'utilise que les connaissances dans le champ pour adapter les outils d'ingénierie pour résoudre des problèmes simples.	25%

<b>Q2 : Critère 6. Analyser et interpréter les résultats obtenus pour justifier l'application de convertisseurs statiques</b>	<b>50 pts</b>
... analyse et interprète les résultats obtenus au regard des hypothèses et objectifs préalablement définis et d'autres références théoriques pertinentes.	100%
... analyse et interprète les résultats obtenus au regard des hypothèses et objectifs préalablement définis.	85%
... analyse et interprète partiellement les résultats obtenus.	60%
... n'est pas en mesure d'analyser et d'interpréter les résultats obtenus, mais est capable d'expliquer pourquoi.	25%

<b>Q5 : Critère 3. Connaître les limites des techniques, ressources et outils sélectionnés dans le domaine des convertisseurs statiques</b>	<b>50 pts</b>
... connaît les limites des techniques, ressources et outils sélectionnés. Adapte ces techniques, ressources et outils, les combine à d'autres ou en crée pour pallier leurs limites.	100%
... connaît les limites des techniques, ressources et outils sélectionnés. Adapte ces techniques, ressources et outils ou les combine à d'autres pour pallier leurs limites.	85%
... connaît partiellement les limites des techniques, ressources et outils sélectionnés.	60%
... ne connaît pas les limites des techniques, ressources et outils sélectionnés, mais sait qu'il en existe.	25%

## 11.2- Rapport de Laboratoire (Labo 1)

<b>Q2 : Critère 5. Mettre en œuvre la solution retenue pour viabiliser l'application de convertisseurs statiques ;</b>	<b>20 pts</b>
... met en œuvre la solution retenue en se référant aux connaissances et aux principes d'ingénierie nécessaires pour ce faire et en tenant compte de plusieurs autres principes pertinents	100%
... met en œuvre la solution retenue en se référant à la plupart des connaissances et des principes d'ingénierie nécessaires pour ce faire et en tenant compte de quelques autres principes pertinents.	85%
... met en œuvre la solution retenue en se référant à quelques principes d'ingénierie nécessaires pour ce faire.	60%
... n'est pas en mesure de mettre en œuvre la solution retenue, mais est capable d'expliquer pourquoi.	25%

<b>Q5 : Critère 1. Sélectionner les techniques, ressources et outils appropriés pour réaliser une tâche dans le domaine des convertisseurs statiques ;</b>	<b>10 pts</b>
... sélectionne les techniques, ressources et outils appropriés en pouvant justifier ses choix (en connaît la portée et les limites), de même qu'en pouvant inférer la nature du travail à accomplir ou les données à colliger.	100%
... sélectionne les techniques, ressources et outils appropriés en pouvant justifier ses choix (en connaît la portée et les limites).	85%
... sélectionne les techniques, ressources et outils appropriés, sans toutefois pouvoir justifier ses choix.	60%
... n'est pas en mesure de sélectionner les techniques, ressources et outils appropriés, mais en connaît pouvant être utilisés.	25%

## 11.3- Validation (Labo 2 : validation et rapport)

<b>Q5 : Critère 2. Utiliser les techniques, ressources et outils sélectionnés selon les protocoles établis dans le domaine des convertisseurs statiques ;</b>	<b>30 pts</b>
... connaît les protocoles établis des techniques, ressources et outils sélectionnés et les respecte lors de leur utilisation. Démontre la capacité à optimiser cette utilisation dans le contexte de la tâche à accomplir.	100%
... connaît les protocoles établis des techniques, ressources et outils sélectionnés et les respecte lors de leur utilisation.	85%
... connaît les protocoles établis des techniques, ressources et outils sélectionnés, mais ne les respecte que partiellement lors de leur utilisation.	60%
... ne connaît pas les protocoles établis des techniques, ressources et outils sélectionnés, mais sait qu'il en existe.	25%

## 11.4- Examens

<b>Q1 : Critère 2. Connaissances dans le champ de l'analyse de problèmes en lien avec les convertisseurs statiques</b>	<b>230 pts</b>
... combine les connaissances de tous les sous-champs afin d'offrir une meilleure solution à la situation proposée.	100%
... utilise des connaissances de tous les sous-champs nécessaires à la résolution de la situation.	85%
... réfère à des connaissances de plusieurs sous-champs dans le champ, et ce, quelle que soit la situation.	60%
... n'utilise que les connaissances d'un sous-champ dans le champ précis, et ce, quelle que soit la situation.	25%

<b>Q2 : Critère 3. Énoncer les objectifs à atteindre pour résoudre le problème en lien avec les convertisseurs statiques</b>	<b>240 pts</b>
... énonce des objectifs mesurables et réalisables en lien avec les hypothèses préalablement émises.	100%
... énonce des objectifs mesurables et réalisables.	85%
... énonce des objectifs partiellement mesurables et/ou réalisables	60%
... énonce des objectifs ni mesurables et/ou ni réalisables	25%

## 12- Consigne pour la rédaction des rapports

Les rapports à fournir ont pour but de présenter le travail effectué de façon claire et concise. Il est attendu que le rapport soit facilement compréhensible. Pour cela, des règles simples peuvent être suivies :

- *Chaque partie du rapport doit correspondre à un élément de réponse précis;*
- *Si les explications intègrent un processus, favoriser un schéma;*
- *Favorisez une figure permettant d'économiser du texte tout en améliorant l'explication;*
- *Pas d'expression mathématique dans le corps de texte;*
- *Les résultats numériques sont donnés dans un tableau clair;*
- *Utilisez un français formel en évitant les phrases trop longues;*
- *Veillez à ce que les axes, textes, chiffres des figures soient lisibles;*
- *Expliquez clairement ce qui doit être perçu dans un tableau ou une figure, ne laissez pas le lecteur deviner.*

Ces règles ne sont pas exhaustives mais permettent de donner les directives les plus importantes. Relisez votre texte et comprenez bien qu'une mauvaise compréhension du lecteur peut amener à penser que le travail fourni est mal réalisé.

## 12- Consigne pour la rédaction des rapports

Les rapports à fournir ont pour but de présenter le travail effectué de façon claire et concise. Il est attendu que le rapport soit facilement compréhensible. Pour cela, des règles simples peuvent être suivies :

- *Chaque partie du rapport doit correspondre à un élément de réponse précis;*
- *Si les explications intègrent un processus, favoriser un schéma;*
- *Favorisez une figure permettant d'économiser du texte tout en améliorant l'explication;*
- *Pas d'expression mathématique dans le corps de texte;*
- *Les résultats numériques sont donnés dans un tableau clair;*
- *Utilisez un français formel en évitant les phrases trop longues;*
- *Veillez à ce que les axes, textes, chiffres des figures soient lisibles;*
- *Expliquez clairement ce qui doit être perçu dans un tableau ou une figure, ne laissez pas le lecteur deviner.*

Ces règles ne sont pas exhaustives mais permettent de donner les directives les plus importantes. Relisez votre texte et comprenez bien qu'une mauvaise compréhension du lecteur peut amener à penser que le travail fourni est mal réalisé.

## 12- Consigne pour la rédaction des rapports

Les rapports à fournir ont pour but de présenter le travail effectué de façon claire et concise. Il est attendu que le rapport soit facilement compréhensible. Pour cela, des règles simples peuvent être suivies :

- *Chaque partie du rapport doit correspondre à un élément de réponse précis;*
- *Si les explications intègrent un processus, favoriser un schéma;*
- *Favorisez une figure permettant d'économiser du texte tout en améliorant l'explication;*
- *Pas d'expression mathématique dans le corps de texte;*
- *Les résultats numériques sont donnés dans un tableau clair;*
- *Utilisez un français formel en évitant les phrases trop longues;*
- *Veillez à ce que les axes, textes, chiffres des figures soient lisibles;*
- *Expliquez clairement ce qui doit être perçu dans un tableau ou une figure, ne laissez pas le lecteur deviner.*

Ces règles ne sont pas exhaustives mais permettent de donner les directives les plus importantes. Relisez votre texte et comprenez bien qu'une mauvaise compréhension du lecteur peut amener à penser que le travail fourni est mal réalisé.