



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE L'ARBI BEN M'HIDI OUM EI BOUAGHI
INSTITUT DES SCIENCES ET DES TECHNIQUES APPLIQUÉES
DÉPARTEMENT RESEAUX ET TELECOMMUNICATIONS



1^{ère} Année Master'' Systèmes Réseaux & Télécommunications''
Année Universitaire 2025/2026
Examen (Durée 1h 30min)

Questions du cours (06 pts)

1. Expliquez le système photovoltaïque Autonome? Avec un schéma ?
2. Expliquez les étapes pour charger une batterie ?
3. Expliquez les mots suivant des batteries : **La durée de vie**, **Etat de charge (SOC : State of charge)**, **la profondeur de décharge (DoD : Depht of Discharge)**, **cycle** ?

Exercice 1 (06 pts)

En moyenne, la consommation du vélo électrique vaut 9 W.h par km parcouru. On souhaite une autonomie permettant de d'effectuer un trajet de 40 km par jour (aller-retour sur le lieu de travail). Le coût d'exploitation (sur la durée de vie de la batterie) doit être le plus faible possible. On estime le prix de l'électricité à 15 cts/kW.h. Le directeur d'un magasin de cycles nous propose 4 modèles différents

Modèle de batterie	Prix à l'achat	Capacité de la batterie pleine	Tension nominale	Temps de charge (chargeur 2,0 A)	Masse	Durée de vie en nombre de cycles charge/décharge
Modèle 1	300 €	5,0 A.h	36 V	2 h 30 min	1,1 kg	800
Modèle 2	400 €	8,7 A.h	36 V	4 h 21 min	1,6 kg	800
Modèle 3	500 €	11,6 A.h	36 V	5 h 48 min	2,1 kg	800
Modèle 4	550 €	14,5 A.h	36 V	7 h 15 min	2,5 kg	800

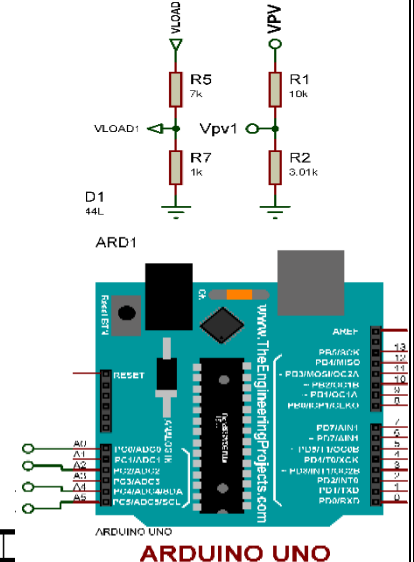
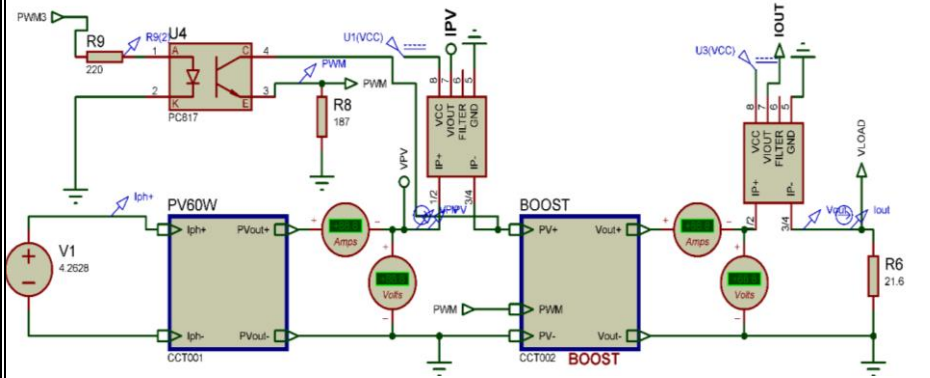
1. Calculer l'autonomie (en km) proposée par chaque batterie. ? Quelle batterie doit-t-il choisir ?
2. Calculer le coût de la recharge électrique au km sans prendre en compte l'achat de la batterie
3. Entre les trajets pour aller au travail et l'utilisation en weekend/vacances on peut considérer que le propriétaire du vélo effectue 300 km par semaine toute l'année. Au bout de combien de temps devra-t-il changer sa batterie (pour les deux modèles restants) ?
4. Le propriétaire décide de changer son vélo tous les 40 000 km. Quel est le meilleur choix de batterie ?

Exercice 1(08pts)

Soit le programme suivant pour générer un signal PWM : sur le TIMER 2

1. Corriger le programme ? Quel mode est utilisé pour la génération du signal PWM ?
2. Expliquer chaque instruction ? Dessiner le signal PWM ?
3. Soit le montage ci-après : donner le rôle de chaque bloc ?
4. Dessiner et expliquer le fonctionnement d'un convertisseur BOOST ?
5. Quel est le rôle du condensateur C et de l'inductance L ?
6. Pour alimenter une charge résistive $R = 10 \Omega$, par une tension continue d'entrée et courant d'entrée : $V_{pv} = 17,2 V$, $I_{pv} = 3,48 A$, et une tension de sortie : $V_{s_boost} = 35 V$, avec le taux d'ondulation de la tension de sortie de 6 % et la fréquence de 20 kHz ? Dimensionner le circuit (calculer D, L et C) ?
7. Dessiner toutes les courbes pour chaque bloc ?

```
void setup() {
  pinMode(3, Input);
  pinMode(6, OUTPUT);
  TCCR0A=0
  TCCR0B=0;
  TCCR0C=0b10100011;
  TCCR0B=0b00000011;
  OCR0A=130;
  OCR0B=70; }
void loop() { }
```



TCCR0A – Timer/Counter Control Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1
0x24 (0x44)	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	–	–	WGM01
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0

TCCR0B – Timer/Counter Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
0x25 (0x45)	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0

Table 1 :WGM02:01:00 Waveform Generation Mode Bit Description

Mode	WGM02	WGM01	WGM00	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCRx at	TOV Flag Set on ^{(1),(2)}
0	0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	0	1	PWM, phase correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	0	1	0	CTC	OCRA	Immediate	MAX
3	0	1	1	Fast PWM	0xFF	BOTTOM	MAX
4	1	0	0	Reserved	–	–	–
5	1	0	1	PWM, phase correct	OCRA	TOP	BOTTOM
6	1	1	0	Reserved	–	–	–
7	1	1	1	Fast PWM	OCRA	BOTTOM	TOP

Table 2. Compare Output Mode, Fast PWM Mode

COM0A1	COM0A0	Description
0	0	Normal port operation, OC0A disconnected.
0	1	WGM02 = 0: Normal port operation, OC0A disconnected. WGM02 = 1: Toggle OC0A on compare match.
1	0	Clear OC0A on compare match, set OC0A at BOTTOM, (non-inverting mode).
1	1	Set OC0A on compare match, clear OC0A at BOTTOM, (inverting mode).

Table 3. Compare Output Mode, Fast PWM Mode

COM0B1	COM0B0	Description
0	0	Normal port operation, OC0B disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0B on compare match, set OC0B at BOTTOM, (non-inverting mode)
1	1	Set OC0B on compare match, clear OC0B at BOTTOM, (inverting mode).

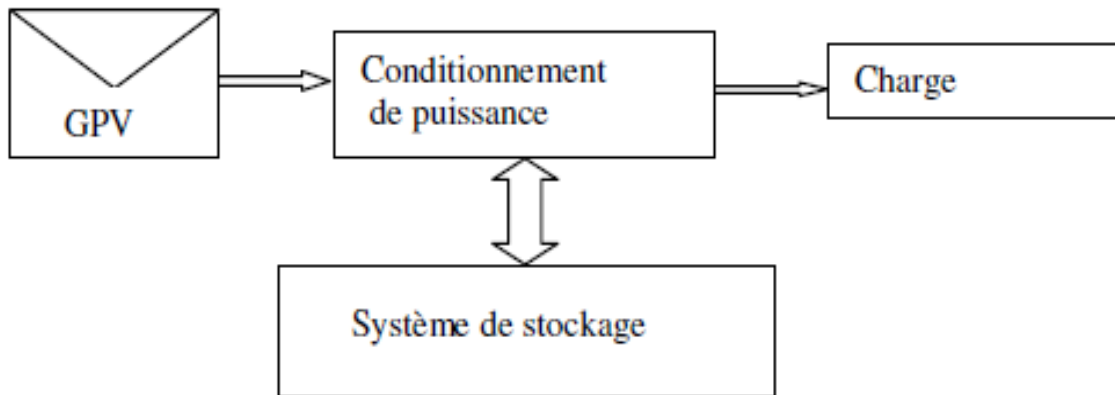
Table 4. Clock Select Bit Description

CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped)
0	0	1	clk _{IO} /(no prescaling)
0	1	0	clk _{IO} /8 (from prescaler)
0	1	1	clk _{IO} /64 (from prescaler)
1	0	0	clk _{IO} /256 (from prescaler)
1	0	1	clk _{IO} /1024 (from prescaler)
1	1	0	External clock source on T0 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T0 pin. Clock on rising edge.

Réponses

Questions du cours (06 pts)

1. Expliquez le système photovoltaïque Autonome? Avec un schéma ?



Systèmes autonomes (ou "off-grid" / "stand-alone")

Ce système est indépendant du réseau électrique. Il est utilisé dans les sites isolés (refuges de montagne, mobil-homes, sites non desservis).

Principe : Vous êtes votre propre fournisseur d'électricité.

Fonctionnement : Les panneaux chargent un parc de batteries via un régulateur de charge. Les batteries fournissent ensuite l'électricité, via un onduleur spécifique, pour alimenter vos appareils.

Avantages : Indépendance totale, idéal pour sites isolés.

Inconvénients : Coût élevé (batteries), besoin de dimensionner très précisément l'installation pour éviter les pannes, nécessite une gestion de sa consommation.

2. Expliquez les étapes pour charger une batterie ?

The BULK stage implique environ 80 % de la recharge, dans laquelle le courant du chargeur est maintenu constant (dans un chargeur à courant constant) et la tension augmente.

The ABSORPTION stage (les 20 % restants environ) permet au chargeur de maintenir la tension à la tension d'absorption du chargeur (entre 14,1 VCC et 14,8 VCC, selon les points de réglage du chargeur) et de diminuer le courant jusqu'à ce que la batterie soit complètement chargée.

The FLOAT stage est celle où la tension de charge est réduite entre 13,1 VCC et 13,5 VCC (qui est la tension maximale qu'une batterie de 12 volts peut contenir) et maintenue constante, tandis que le courant est réduit à moins de 1 % de la capacité de la batterie.

3. Expliquez les mots suivant des batteries : La durée de vie, Etat de charge (SOC : State of charge), la profondeur de décharge (DoD : Depth of Discharge), cycle ?

La durée de vie, : La durée de vie d'une batterie (nb de charge/décharge) dépend de la profondeur de décharge récurrente qu'elle atteint.

Plus la profondeur de décharge finale est importante, moins longue sera la durée de vie d'une batterie. Pour chaque utilisation il faut trouver le bon compromis entre la profondeur de décharge acceptable, le besoin en énergie et la durée de vie.

Etat de charge (SOC : State of charge), : Une autre manière pour situer où en est une batterie est d'indiquer l'état de charge ou "state of charge", SOC en anglais.

Ce terme est universellement utilisé. Le SOC est une indication sur le niveau de charge d'une batterie. L'indication est donnée en pourcentage. C'est ce qu'affiche, par exemple, un moniteur de batterie.

Il est important de comprendre que l'Etat de charge de la batterie est l'opposé de la profondeur de décharge.

La profondeur de décharge (DoD : Depth of Discharge), : La Profondeur de décharge est et indique le stade de décharge de la batterie.

- Si la batterie est pleine, elle est à 0% de décharge.
- Si la batterie est un peu déchargée, cela pourrait être, par exemple, 20% de profondeur de décharge.
- Si la batterie est beaucoup déchargée, cela pourrait être, par exemple, 90% de profondeur de décharge.
- Si la batterie est vide, c'est 100% de profondeur de décharge

Cycle : Une charge et une décharge constitue un cycle. En solaire, un cycle s'entend par 24 heures

Exercice 1 (06 pts)

1. **Calculer l'autonomie (en km) proposée par chaque batterie. ? Quelle batterie doit-t-il choisir ?**

Consommation : 9 Wh/km.

Capacité batterie (Wh) = Tension (V) × Capacité (Ah).

• **Modèle 1 :** $36 \times 5,0 = 180$ Wh

Autonomie = $180 \div 9 = 20$ km.

• **Modèle 2 :** $36 \times 8,7 = 313,2$ Wh

Autonomie = $313,2 \div 9 = 34,8$ km ≈ 35 km.

• **Modèle 3 :** $36 \times 11,6 = 417,6$ Wh

Autonomie = $417,6 \div 9 = 46,4$ km.

• **Modèle 4 :** $36 \times 14,5 = 522$ Wh

Autonomie = $522 \div 9 = 58$ km.

Trajet quotidien = 40 km → il faut autonomie ≥ 40 km.

Seuls Modèle 3 (46,4 km) et Modèle 4 (58 km) conviennent.

Modèle 1 et 2 ne sont pas adaptés pour cet usage quotidien.

→ Choix initial pour garantir le trajet : Modèle 3 ou 4.

Le moins cher des deux est Modèle 3 (500 € contre 550 €).

2. **Calculer le coût de la recharge électrique au km sans prendre en compte l'achat de la batterie**

Coût recharge électrique au km (hors achat batterie)

Énergie nécessaire par km = 9 Wh = 0,009 kWh.

Prix électricité = 0,15 €/kWh.

Coût/km = $0,009 \times 0,15 = 0,00135$, $0,009 \times 0,15 = 0,00135$ €/km = 0,135 cts/km (identique pour tous).

3. Entre les trajets pour aller au travail et l'utilisation en weekend/vacances on peut considérer que le propriétaire du vélo effectue 300 km par semaine toute l'année. Au bout de combien de temps devra-t-il changer sa batterie (pour les deux modèles restants) ?

Temps avant changement de batterie (pour les deux modèles restants)

On suppose 300 km par semaine → par an = $300 \times 52 = 15\,600$ km/an.

Durée de vie batterie = 800 cycles (charge/décharge complets).

• **Modèle 3 : autonomie = 46,4 km**

Nb de km avant remplacement = $46,4 \times 800 = 37\,120$ km.

Temps = $37\,120 \div 15\,600 \approx 2,38$ ans (~ 2 ans 4 mois).

• **Modèle 4 : autonomie = 58 km**

Nb de km avant remplacement = $58 \times 800 = 46\,400$ km.

Temps = $46\,400 \div 15\,600 \approx 2,97$ ans (~ 3 ans).

4. Le propriétaire décide de changer son vélo tous les 40 000 km. Quel est le meilleur choix de batterie ?

Meilleur choix si vélo changé tous les 40 000 km

On compare coût total (achat batterie(s) + électricité) sur **40 000 km**.

Électricité sur 40 000 km = $40\,000 \times 0,00135 = 54$ € (identique tous modèles).

Modèle 3

Batterie tient 37 120 km → doit être changée à 37 120 km.

Sur 40 000 km, il faut la batterie pour 37 120 km + une partie d'une autre batterie pour les 2 880 km restants.

Deux batteries : $500 \times 2 = 1000$ €.

Coût total = $1000 + 54 = 1054$ €.

Modèle 4

Batterie tient 46 400 km > 40 000 km → une seule batterie.

Coût total = $550 + 54 = 604$ €.

Comparatif (coût total sur 40 000 km)

- Modèle 3 : 1054 €
- Modèle 4 : **604 €**

Modèle 4 est bien meilleur (économique) sur la durée du vélo.

Exercice 2 (08 pts)

Soit le programme suivant pour générer un signal PWM : sur le TIMER 2

1. Corriger le programme ? Quel mode est utilisé pour la génération du signal PWM ?

a. Correction

```
void setup() {  
  pinMode(3, Input); // pinMode(3, OUTPUT); //  
  pinMode(6, OUTPUT); // pinMode(11, OUTPUT); //  
  TCCR0A=0 // TCCR2A=0;  
  TCCR0B=0; // TCCR2B=0;  
  TCCR0C=0b10100011; // TCCR2A=0b10100011;  
  TCCR0B=0b00000011; // TCCR2B=0b00000011;  
  OCR0A=130; // OCR2A=130;  
  OCR0B=70; } // OCR2B=70;  
void loop() {}
```

b. Mode d'utilisation

fast pwm mode

2. Expliquer chaque instruction ?

```
void setup() {  
  pinMode(3, Input); // pinMode(5, OUTPUT); // les sorties sur les Pins 3 et 11  
  pinMode(6, OUTPUT); // pinMode(11, OUTPUT); //  
  TCCR0A=0 // TCCR2A=0; reset the register  
  TCCR0B=0; // TCCR2B=0; reset the register  
  TCCR0C=0b10100011; // TCCR2A=0b10100011; fast pwm mode  
  TCCR0B=0b00000011; // TCCR2B=0b00000011; prescaler 64  
  OCR0A=130; // OCR2A=130; //duty cycle for pin 3  $D=130/255$  (52%)  
  OCR0B=70; } // OCR2B=70; duty cycle for pin 11  $D=70/255$  (28%)  
void loop() {}
```

Dessiner le signal PWM ?

3. Soit le montage ci-après : donner le rôle de chaque bloc ?

- PV solaire : production d'électricité à partir de la lumière du soleil.
- Boost convertisseur DC-DC, c'est circuit électrique, élévateur de tension, adaptation d'impédance
- Capteurs de la tension
- Capteurs du courant
- Microcontrôleur pour générer le signal PWM
- OPTECOUPLEUR: pour augmenter la tension et le courant afin d'amorcer les transistors de puissance

4. Dessiner et expliquer le fonctionnement d'un convertisseur BOOST ?

• **Séquence 1 $0 \leq t \leq DT$**

- Transistor ON comme un interrupteur fermé
- Diode OFF comme un interrupteur ouvert
- La tension aux bornes de l'inductance

$$V_L = V_e - 0 = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

L'équation (1) devient

$$\left(\frac{V_L}{L}\right)dt = \frac{V_e}{L} = di_L > 0 \quad (2)$$

Selon l'équation 2 Le courant croît linéairement .

• **Séquence 2 $DT \leq t \leq T$**

- Transistor OFF comme un interrupteur ouvert
- Diode ON comme un interrupteur fermé
- La tension aux bornes de l'inductance

$$V_L = V_e - V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (3)$$

L'équation (3) devient

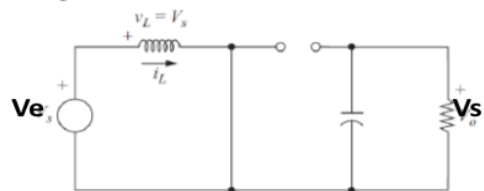
$$\left(\frac{V_L}{L}\right)dt = \left(\frac{V_e - V_s}{L}\right) = di_L < 0 \quad (4)$$

Selon l'équation (4) Le courant décroît linéairement .

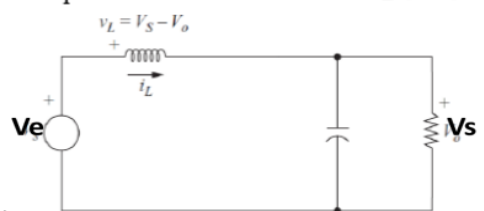
- **Puisqu'en régime permanent la tension moyenne**

$$V_L = (V_e)DT + (V_e - V_s)(1-D)T = 0 \quad (5)$$

Séquence 1 Transistor ON $0 < t < DT$



Séquence 2 Transistor OFF $DT < t < T$



5. Quel est le rôle du condensateur C et de l'inductance L ?

- Le condensateur C de large capacité pour minimiser les ondulations de la tension de sortie VS.
- L C'est une inductance de lissage du courant

6. Pour alimenter une charge résistive $R = 10 \Omega$, par une tension continue d'entrée et courant d'entrée : $V_{pv} = 17,2 \text{ V}$, $I_{pv} = 3,48 \text{ A}$, et une tension de sortie : $V_{s_boost} = 35 \text{ V}$, avec le taux d'ondulation de la tension de sortie de 6 % et la fréquence de 20 kHz ? Dimensionner le circuit (calculer D, L et C) ?

- $D = (1 - v_{in}/v_{out}) = (1 - 17.2/35) = 0.51$

- $L_{min} = (D(1 - D)^2 * R) / 2f =$

$$AN : L_{min} = 0.51(1 - 0.51)^2 * 10 / 40K$$

$$L = 1.25L_{min} = 40\mu H$$

- $C = D / (R(dv/v)) * f$

$$AN : C = 0.51 / (10 * 0.06 * 20k) = 43\mu F$$

7. Dessiner toutes les courbes pour chaque bloc ?