



Année Universitaire 2025/2026

3ème Année Licence R&T : Energies et électronique de puissance (EEP)

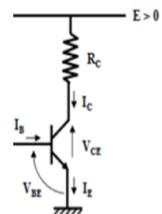
Examen(1h30min)

Exercice 01(05 pts)

1. Donner le rôle de rendement énergétique ? ..... ... (01)
2. Donner le rôle d'une diode roue libre ? Donner un exemple avec des schémas ? ..... (02)
3. Donner les critères pour choisir une diode ? ..... (02)

Exercice 2 (06pts)

1. Expliquer le fonctionnement de montage 1? (Transistor en commutation) (01)
2. Dessiner la courbe de sortie ( $V_{CE}$ ) et la courbe d'entrée ( $V_{BE}$ )? (0.25)
3. Dessiner la courbe de sortie ( $I_C$ ) et la courbe d'entrée ( $I_B$ )? (0.25)
4. Soit le programme suivant pour générer un signal PWM : sur le TIMER 0
  - a. Corriger le programme ? (01)
  - b. La génération du signal PWM, sur quel mode ? (0.5)
  - c. Expliquer chaque instruction ? (01)
  - d. Donner la fréquence à générer ? (0.5)
  - e. Changez le programme pour varier le rapport cyclique.  
 $D1 = 25\%$ , et  $D2 = 75\%$  ? (01)
  - f. Dessiner le signal PWM ? (0.5)

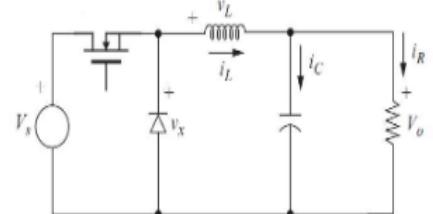


**Montage 1**

```
Void setup() {
  pinMode(5, INPUT);
  pinMode(3,OUTPUT);
  TCCR0A=0;
  TCCR0B=0;//
  TCCR1A=0b00000010;
  TCCR0B=0b00000001;
  OCR1A=0; }
void loop() {
```

Exercice 3 (09 pts)

1. Expliquer le montage 2 ? (2.5)
2. Donner le rôle de condensateur  $C$  et l'inductance  $L$  ? (01)
3. Nous voudrons concevoir le montage 2, pour alimenter une charge résistive  $R=10\Omega$  par une tension  $V_{out}=20V$  le taux d'ondulation de la tension de sortie ne doit pas dépasser 0.6%, la tension d'alimentation est 50V et la fréquence de fonctionnement est imposer 7.82kHz



**Montage 2**

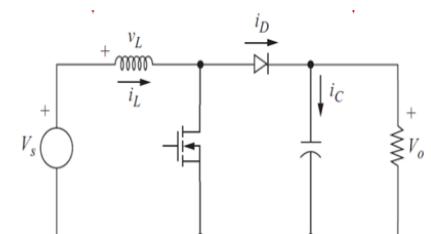
- 3.1 écrire un programme en langage C pour générer la fréquence  $f= 7.82Khz$  et rapport cyclique  $D = 75\%$ , sur TIMER1 ? (01)

- 3.2 Calculer le rapport cyclique  $D$ , l'inductance  $L$ , et le condensateur  $C$  ? (01)

- 3.3 Dessiner Le Signal PWM (rapport cyclique + fréquence  $f=7.82Khz$ )? (0.5)

- 3.4. Dessiner le chronogramme de la tension  $V_L$  et du courant  $i_L$  ? (0.5)

4. Expliquez le montage 3 ? (2.5)



**Montage 3**

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0			
0x24 (0x44)	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	—	—	WGM01	WGM00	TCCR0A		
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W			
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0			
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0			
0x25 (0x45)	FOC0A	FOC0B	—	—	WGM02	CS02	CS01	CS00	TCCR0B		
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W			
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0			
Mode	WGM02	WGM01	WGM00	Timer/Counter Mode of Operation			TOP	Update of OCRx at	TOV Flag Set on <sup>(1)(2)</sup>		
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		
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).									
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).									
CS02	CS01	CS00	Description								
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped)								
0	0	1	clk <sub>Q</sub> /no prescaling								
0	1	0	clk <sub>Q</sub> /8 (from prescaler)								
0	1	1	clk <sub>Q</sub> /64 (from prescaler)								
1	0	0	clk <sub>Q</sub> /256 (from prescaler)								
1	0	1	clk <sub>Q</sub> /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.								

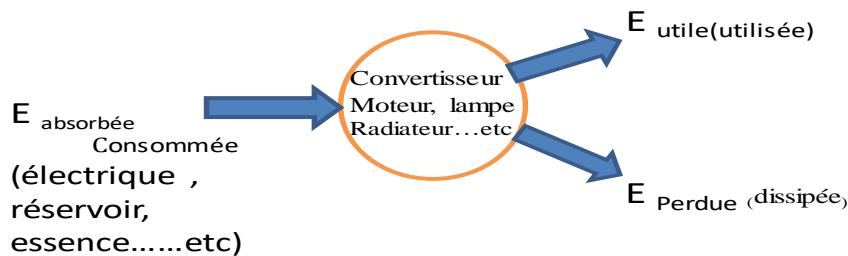
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0		
(0x80)	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	—	—	WGM11	WGM10	TCCR1A	
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W		
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0		
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0		
(0x81)	ICNC1	ICES1	—	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B	
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W		
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0		
Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Timer/Counter Mode of Operation			TOP	Update of OCR1X at	TOV1 Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal			0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, phase correct, 8-bit			0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, phase correct, 9-bit			0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, phase correct, 10-bit			0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC			OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit			0x00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit			0x01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit			0x03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	PWM, phase and frequency correct			ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, phase and frequency correct			OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, phase correct			ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, phase correct			OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC			ICR1	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	(Reserved)			—	—	—
14	1	1	1	0	Fast PWM			ICR1	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM			OCR1A	BOTTOM	TOP

Note: 1. The CTC1 and PWM11:0 bit definition names are obsolete. Use the WGM12:0 definitions. However, the functionality and location of these bits are compatible with previous versions of the timer.

## Réponse

1. **Donner le rôle de rendement énergétique ?** C'est le pourcentage de l'énergie consommée par un système qui sera transformée en énergie utile (ainsi énergie perdue).

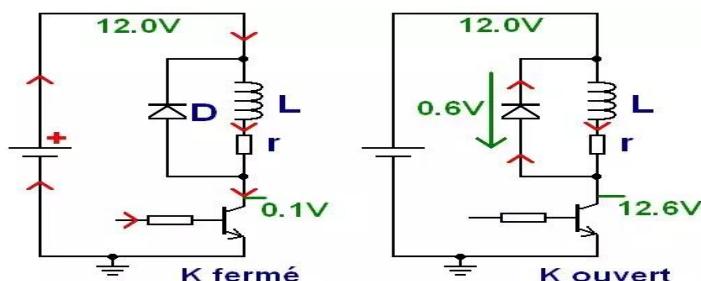
**Rendement énergétique**  $R(\%) = E_{\text{utile}}/E_{\text{consommée}} * 100\%$



## 2. libérer le courant de bobine

Exemple de diode de roue libre 1N4148 standard. On souhaite commander un relais ou moteur 12V avec un transistor NPN BC547. Lorsque le transistor est passant (saturé), c'est presque un fil. La tension à ses bornes (Vcesat) vaut 0.1V environ. Le relais fait contact et voit 12V-0.1V=11.9V à ses bornes.

Quand on ouvre le transistor, la diode de roue libre D entre en conduction. La tension à ses bornes vaut environ 0,6V. Le potentiel du collecteur monte alors à 12,6V jusqu'à la fin du passage du courant. Quand il n'y a plus de courant dans la bobine, le potentiel du collecteur vaut à nouveau 12V précisément et la diode de roue libre est bloquée. Il ne se passe alors plus rien.



## 3. Donner les critères pour choisir une diode ?

- La valeur de courant direct
- La valeur de tension inverse

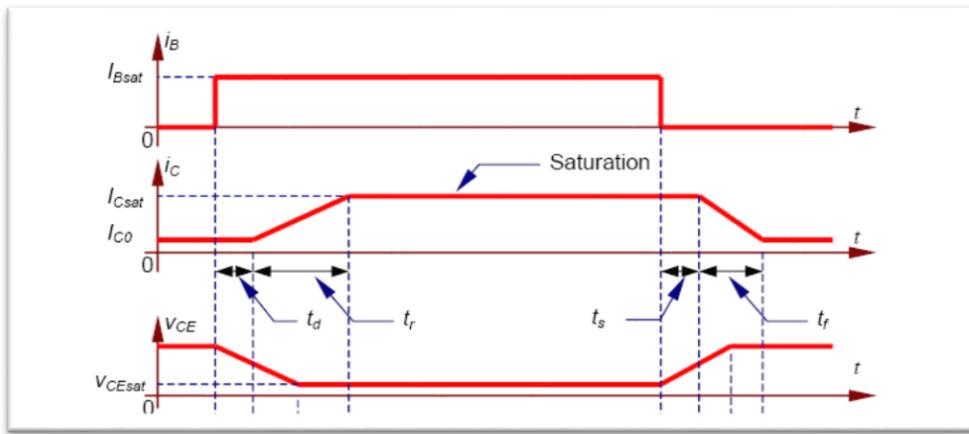
## Exercice 1

### 1. Expliquer le montage ci-après?

- Transistor bloqué (B) ou OFF : état obtenu en annulant le courant  $i_B$  de commande, ce qui induit un courant de collecteur nul et une tension  $VCE$  non fixée. L'équivalent est un commutateur ouvert.
- Transistor saturé (S) ou ON : ici, le courant  $i_B$  est tel que le transistor impose une tension  $VCE$  nulle tandis que le courant  $i_C$  atteint une valeur limite dite de saturation,  $i_{Csat}$ . L'équivalent est un commutateur fermé

### 2. Dessiner la courbe de sortie et la courbe d'entrée?.

3.



4. Soit le programme suivant pour générer un signal PWM : sur le TIMER 0

- Corriger le programme ?
  - La génération du signal PWM, sur quel mode ?
- La génération du signal PWM sur **CTC MODE**
- Expliquer chaque instruction ?

```
void setup() {  
  pinMode(5, OUTPUT);  
  pinMode(6,OUTPUT);  
  TCCR0A=0;  
  TCCR0B=0;  
  TCCR0A=0b10100010;  
  TCCR0B=0b00000001;  
  OCR0A=0; }  
void loop() {}
```

```
void setup() {  
  pinMode(5, OUTPUT); // la sortie sur les deux pins 5 et 6 TIMER0  
  pinMode(6,OUTPUT);  
  TCCR0A=0;//reset the register  
  TCCR0B=0;//reset the register  
  TCCR0A=0b00000010;// CTC mode and b7 b6 : 00 normal /01 toggle/10  
  clear/11 set  
  TCCR0B=0b00000001;// no prescaler and WGM02 is 0/ f=8MHz  
  OCR0A=0; } //control value}  
void loop() {}
```

- Donner la fréquence à générer ?

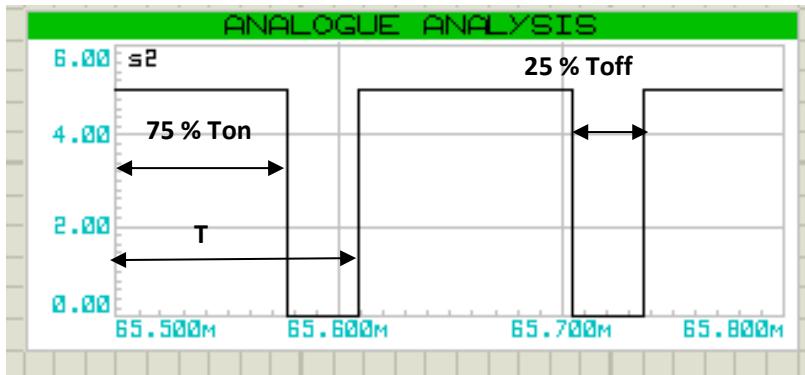
La fréquence est  $f=8\text{MHz}$

E. Changez le programme pour varier le rapport cyclique.  $D1 = 25\%$ , et  $D2 = 75\%$  ?

Nous proposons un autre mode comme fast mode , ou Phase correct PWM mode

```
void setup() {  
  pinMode(9, OUTPUT);  
  pinMode(10,OUTPUT);  
  TCCR1A=0;//reset the register  
  TCCR1B=0;//reset the register  
  TCNT1=0;  
  TCCR1A=0b10100011;//COM1A0,COM1B0 are 0, COM1A1, COM1B1 are 1 //also WGM11, WGM10 are 1  
  TCCR1B=0b00000001;//WGM13 and WGM12 are 0 with no prescaler CS10 is 1  
  OCR1A=512; } // duty cycle value D=50%//OCR1A=768 D=75%
```

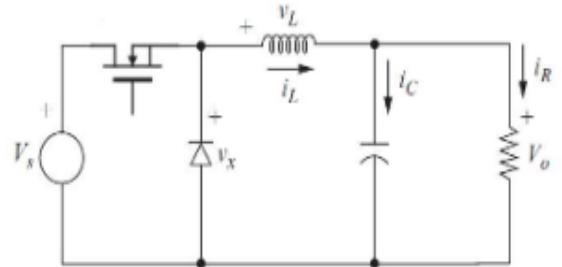
void loop() {} // put your main code here, to run repeatedly  
**f .Dessiner le signal PWM ?**



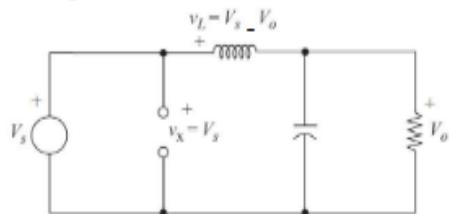
### Exercice 3

#### 1. Expliquer le montage ci-après ?

Le type de ce convertisseur est buck converter



#### Séquence 1 Transistor ON $0 < t < DT$

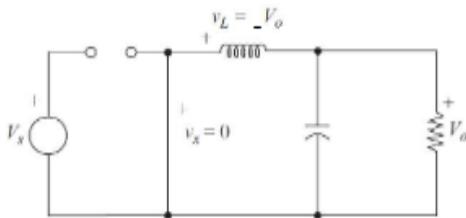


$$v_L = V_s - V_o = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad \text{Le courant croît linéairement}$$

$$(\Delta i_L)_{closed} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) DT$$

#### Séquence 2 Transistor OFF $DT < t < T$



$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{-V_o}{L} \quad \text{Le courant décroît linéairement}$$

$$(\Delta i_L)_{open} = - \left( \frac{V_o}{L} \right) (1 - D) T$$

#### 2. Quel est le rôle de condensateur C et l'inductance L ?

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

3.

#### 3.1 le programme sur TIMER1

```

void setup() {
  pinMode(9, OUTPUT);
  pinMode(10,OUTPUT);
  TCCR1A=0;//reset the register
  TCCR1B=0;//reset the register
  TCNT1=0;
  TCCR1A=0b10100011;//COM1A0,COM1B0 are 0, COM1A1, COM1B1 are 1 //also WGM11, WGM10 are 1
  TCCR1B=0b00000001;//WGM13 and WGM12 are 0 with no prescaler CS10 is 1
  OCR1A=768; } // OCR1A=768 D=75%
void loop() {}// put your main code here, to run repeatedly

```

### 3.2 Calculer le rapport cyclique $D$ , l'inductance $L$ , et le condensateur $C$ ?

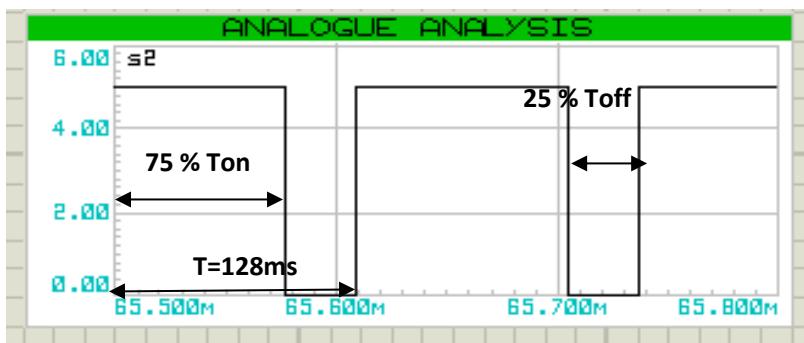
- $D = \frac{v_s}{v_{in}} = \frac{20}{50} = 0.4 = 40\%$

- $L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} = \frac{(1-0.4)*10}{40*10^3} = 150\mu H$

$$L = 1.25 * L_{min} = 188\mu H$$

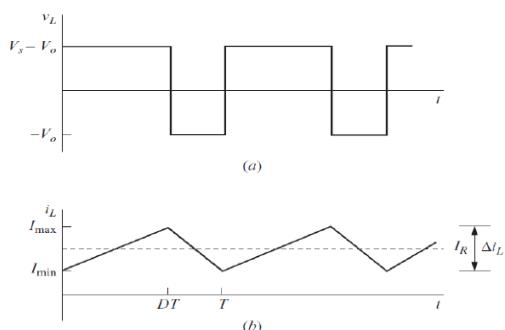
- $C = \frac{(1-D)}{8L(\frac{\Delta v_s}{v_s})f^2} = 0. \frac{6}{8*188*10^{-6}*0.006*20*20*10^6} = 166\mu F$

### 3.3 Dessiner Le Signal PWM (rapport cyclique + fréquence $f$ )?



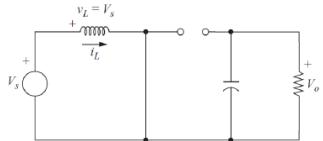
### 3.4. Dessiner le chronogramme de la tension $VL$ et du courant $IL$ ?

Chronogrammes de la tension et du courant de l'inductance

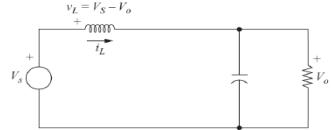


### 3. le schéma représente boost converter

Séquence 1 Transistor ON  $0 < t < DT$



Séquence 2 Transistor OFF  $DT < t < T$



- Séquence 1  $0 \leq t \leq DT$**

- Transistor ON comme une interrupteur fermé
- Diode OFF comme une 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 une interrupteur ouvert
- Diode ON comme une 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

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

