

# Programmation de la génération d'un signal créneau à rapport cyclique variable

---

## Objectif de l'expérience

---

Afin de faire fonctionner les moteurs, il faut être capable de générer le signal de commande approprié.

Le moteur est asservi en vitesse de rotation. La consigne, en pourcentage de vitesse maximale, est envoyé aux variateurs de vitesse sous la forme d'un signal modulé en rapport cyclique (pulse width modulation PWM).

La documentation technique des moteurs indique le cahier des exigences devant être respecté par le signal :

- Signal de type Pulse
- Fréquence 50Hz (standard PWM) ou 490 Hz (fast PWM)
- Période de pulsation comprise entre 1ms et 2ms.

**Objectif :** Vérifier si l'allure des signaux PWM générés par la carte Arduino respectent les exigences des variateurs de vitesse (ESC) des moteurs brushless.

## Méthode de génération de signal PWM :

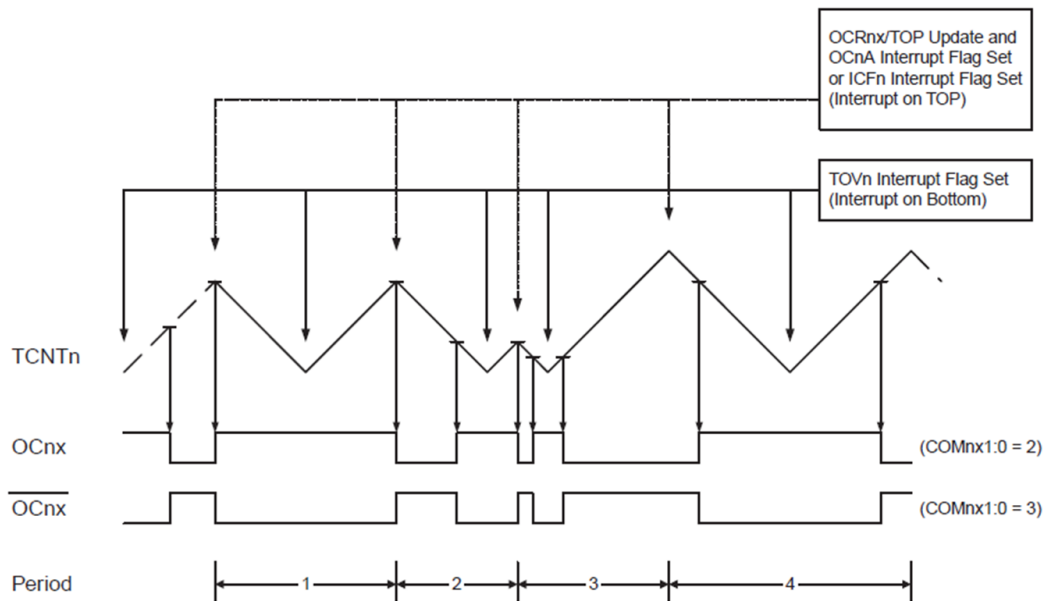
---

### Arduino

- 2 Timers (Timer1 : 16 bits ; Timer2 : 8bits)
- Synchronisation avec l'horloge interne (16MHz)
- Diminution de la fréquence d'entrée des compteurs grâce au Prescaler
- Mode de génération de signal choisi : phase-correct pwm (incrémenter puis décrémenter, passage du compteur à la valeur-paramètre déclenche le signal bas)
- Réglage des paramètres via constantes de registres (IDE Arduino – processeur Atmel)

(Plus d'explications ...)

**Figure 16-8. Phase Correct PWM Mode, Timing Diagram**

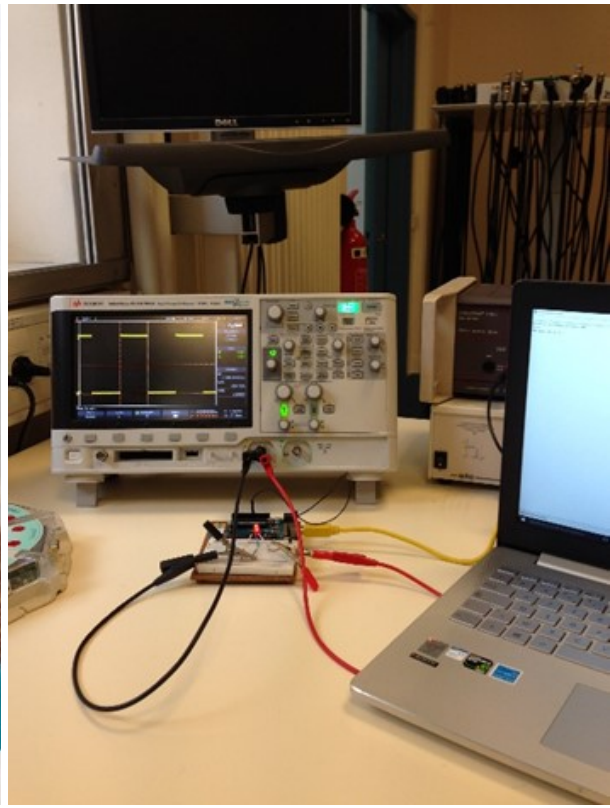
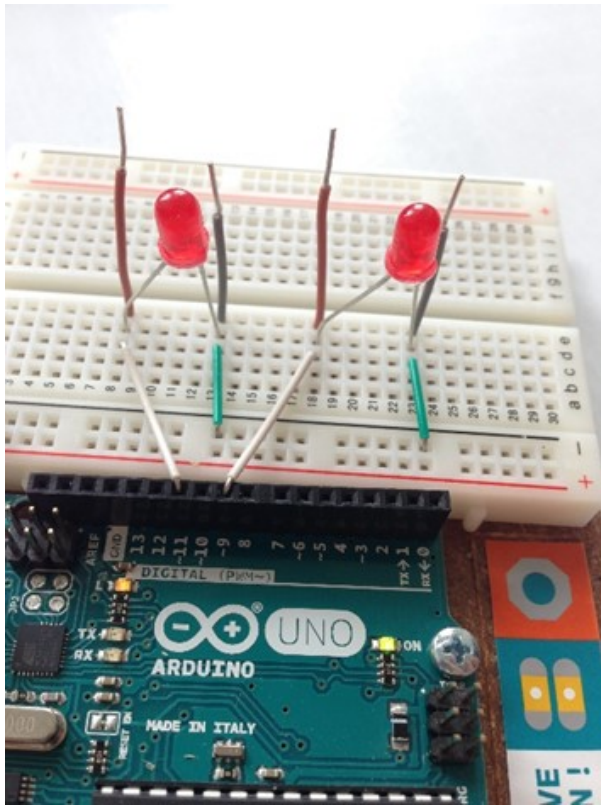


## Variante : proposition de montage électronique

## Protocole expérimental

- Visualisation des signaux générés par chacun des timers à l'oscilloscope
- Mesure de la fréquence
- Mesure de la période de signal bas pour des ratios allant de 0% à 100%
- Comparaison avec les exigences de l'ESC

## Montage



## Résultats

*La précision des résultats pour les différentes périodes mesurées est égale à 0.01ms : mesure sur l'oscilloscope à l'aide de curseurs, en prenant en compte le régime transitoire du signal.*

### Premier essai Timer1 : échec

Fréquence mesurée : 245 Hz. Erreur dans le paramétrage des registres du processeur.  
Rappel : la fréquence du signal en mode phase-correct est calculée à l'aide de la formule suivante :

$$f_{\text{PWM}} = f_{\text{clk}} / (2 \cdot N_{\text{scl}} \cdot 2^i)$$

$f_{\text{clk}}$  = fréquence de l'horloge (16 MHz)

$N_{\text{scl}}$  = rapport du Prescaler

$2^i$  = valeur maximale atteinte par le Counter

On a constaté l'oubli du facteur 2 dans le calcul initial de la fréquence du signal lié au mode phase-correct (incrémentement puis décrémentation), si bien que l'on avait choisi  $i = 15$ . On a donc pris en compte l'erreur et modifié la valeur de  $i$  dans le registre.

### Second essai Timer1 : succès

Fréquence mesurée : 488 Hz. Conforme au calcul théorique et aux exigences.

L'écart entre les périodes de signal bas théoriques et expérimentales est du même ordre de grandeur que la précision des résultats expérimentaux. On peut donc considérer que le signal est conforme aux exigences.

## Premier essai Timer2 : succès

Fréquence mesurée : 490 Hz.

Ecart du même ordre de grandeur que la précision des résultats expérimentaux.

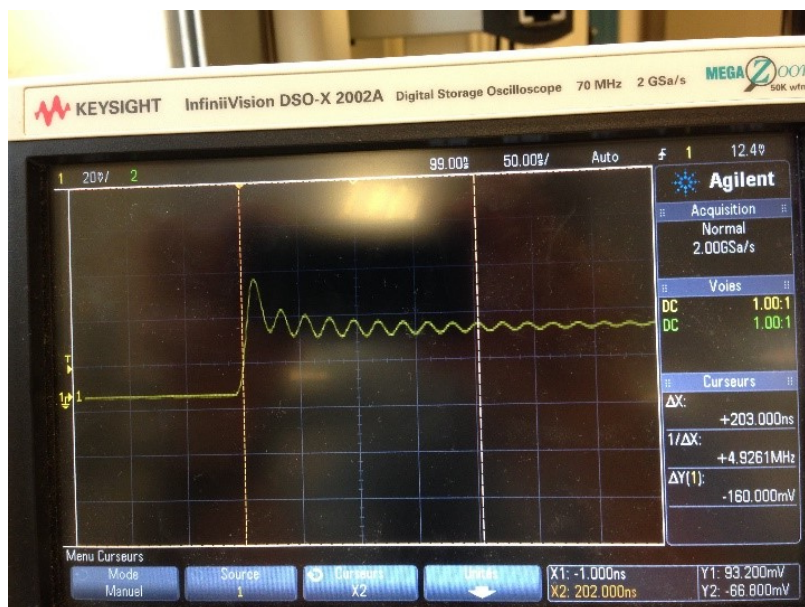
## Comparaison du régime transitoire arduino - GBF

(figure : régime transitoire timer2)



On constate que le signal PWM possède un temps d'établissement du signal haut environ égal à 330ns. On décide de le comparer avec un signal de GBF.

(figure : régime transitoire GBF)



Le régime transitoire du GBF a une durée d'environ 200ns. L'écart entre le signal généré par la carte Arduino et un GBF de laboratoire est donc suffisamment faible pour être acceptable.

## Conclusion

L'expérience est concluante, le signal généré valide bien les exigences des ESC. Il reste à vérifier qu'ils sont bien compatibles en pratique.

## Annexe

### Résultats Timer1

Ratio PWM (%)	T théorique (ms)	T expérimentale (ms)	Ecart (ms)
0	0,000	0	0,0000
10	0,205	0,21	0,0051
20	0,410	0,41	0,0002
30	0,615	0,61	0,0048
40	0,820	0,82	0,0003
50	1,025	1,02	0,0046
60	1,230	1,23	0,0005
70	1,434	1,43	0,0044

Ratio PWM (%)	T théorique (ms)	T expérimentale (ms)	Ecart (ms)
80	1,639	1,64	0,0007
90	1,844	1,84	0,0043
100	2,049	2,05	0,0008

période exp	fréquence exp	fréquence théo
2,04E-03	490,1960784	490

## Résultats Timer2

Ratio PWM (%)	T théorique (ms)	T expérimentale (ms)	Ecart (ms)
0	0	0	0
10	0,204081633	0,2	0,004081633
20	0,408163265	0,42	0,011836735
30	0,612244898	0,61	0,002244898
40	0,816326531	0,82	0,003673469
50	1,020408163	1,02	0,000408163
60	1,224489796	1,22	0,004489796
70	1,428571429	1,42	0,008571429
80	1,632653061	1,63	0,002653061
90	1,836734694	1,83	0,006734694
100	2,040816327	2,04	0,000816327

période exp	fréquence exp	fréquence théo
2,05E-03	488,5197851	488 Hz

## Comparaison Timer2 GBF

(figure : signal PWM 490 Hz (50:100) Timer2)





(figure : idem GBF)

