

Rapport de projet

# ROBOT SUIVEUR DE LIGNE À COMMANDE ANALOGIQUE

Elliott FABIÉ

Killian PLEVENAGE



# Table des matières

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
<b>2. ÉTUDE .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Cahier des charges.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Étude fonctionnelle .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.1. Schéma fonctionnel complet.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2.2. Capter la ligne.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.3. Comparer .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.4. Générer un signal triangulaire .....</b>	<b>5</b>
<b>2.2.5. Interfacer la puissance et varier la vitesse .....</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Étude structurelle.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3.1. Capter la ligne.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3.2. Générer un signal triangulaire .....</b>	<b>8</b>
<b>2.3.3. Comparer .....</b>	<b>11</b>
<b>2.3.4. Interfacer la puissance et varier la vitesse .....</b>	<b>13</b>
<b>2.3.5. Moteurs .....</b>	<b>15</b>
<b>2.4. Schéma structurel global .....</b>	<b>16</b>
<b>2.5. Analyse des essais et mesures .....</b>	<b>17</b>
<b>3. RÉALISATION .....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Dossier de fabrication.....</b>	<b>23</b>
<b>3.2. Essais et mesures de la réalisation .....</b>	<b>27</b>
<b>4. CONCLUSION .....</b>	<b>28</b>
<b>5. ANNEXES.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1. Annexe 1 : OPB704.....</b>	<b>29</b>
<b>5.2. Annexe 2 : LM324N .....</b>	<b>31</b>
<b>5.3. Annexe 3 : Calcul des seuils VsH, VsB.....</b>	<b>32</b>
<b>5.4. Annexe 4 : Calcul de la résistance R3 .....</b>	<b>33</b>
<b>5.5. Annexe 5 : 2N2219 .....</b>	<b>34</b>

## 1. INTRODUCTION

Dans le cadre d'une Situation d'Apprentissage et d'Évaluation (SAE), nous avons conçu et fabriqué la carte de commande d'un robot suiveur de ligne capable de suivre un tracé prédéfini. Ce projet nous a permis de mettre en œuvre des compétences en électronique, en traitement analogique et en conception de circuits imprimés.

La réalisation s'est déroulée en plusieurs étapes: une phase d'étude visant à définir le cahier des charges et les choix techniques, suivie de la conception et de la fabrication de la carte de commande, puis de son intégration et des tests de validation. Ce rapport présente l'ensemble de ces étapes, depuis l'analyse des besoins jusqu'à la validation du bon fonctionnement du système.

## **2. ÉTUDE**

### **2.1. Cahier des charges**

#### *Objectif*

Le produit à développer devra assurer :

- Le traitement des données de position,
- La génération des commandes pour les moteurs du robot,
- Le respect des contraintes techniques et dimensionnelles définies.

#### *Contraintes techniques*

1. **Alimentation** : Le système devra fonctionner avec une alimentation embarquée de **12V**.
2. **Communication** : Les échanges de données s'effectueront via un **connecteur 8 points** avec un pas de **200 mils**.
3. **Format** : Le circuit imprimé devra respecter des dimensions maximales de **45 x 55 mm**.
4. **Contrôle qualité** : Une optimisation de la carte devra être mise en place (points de test et/ou contacts connecteur) afin de garantir un contrôle efficace **pendant et après** fabrication.
5. **Précision** : Toutes les informations traitées et générées devront être conformes avec une **tolérance maximale de 5%**.

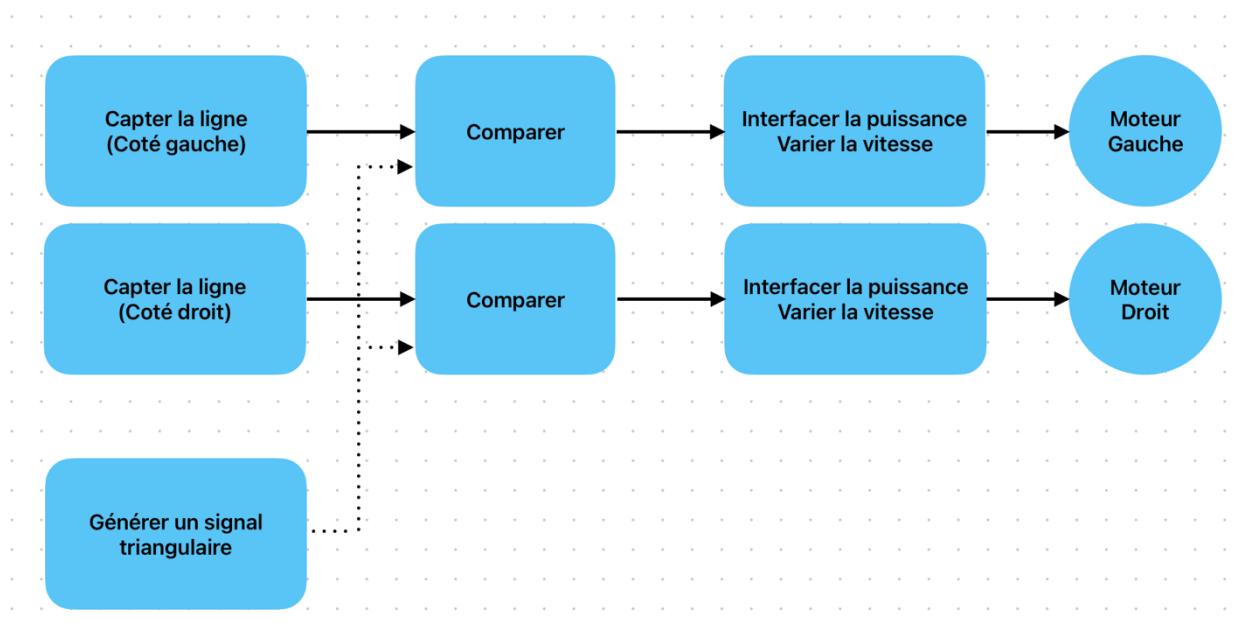
## 2.2. Étude fonctionnelle

En nous basant sur le cahier des charges, nous mettons en place le découpage fonctionnel complet du système.

Dans cette section, nous analyserons en détail chaque fonction, en expliquant leur rôle et en justifiant leur importance au sein du système.

Le robot ne possède que 2 moteurs et aucun système de direction. Nous avons décidé de varier la vitesse des moteurs indépendamment afin de permettre une rotation (principe d'un char à chenille).

### 2.2.1. Schéma fonctionnel complet



### *2.2.2. Capter la ligne*

Le robot sur lequel nous branchons notre système embarque deux capteurs de ligne. Ils permettent d'indiquer où le robot se situe par rapport à la ligne qu'il doit suivre. Ces capteurs détectent la réflectance du sol (clair pour la ligne, sombre pour la moquette).

### *2.2.3. Comparer*

Cette fonction consiste à comparer le signal provenant des capteurs avec une référence, ici un signal triangulaire. Cela permet de moduler le rapport cyclique du signal fourni au moteur en fonction de l'erreur entre la position réelle et la position idéale du robot. Nous avons choisi d'utiliser ce principe de modulation de largeur d'impulsion (MLI, ou PWM en anglais) afin de varier la vitesse des moteurs. Son fonctionnement sera détaillé plus tard dans ce rapport.

### *2.2.4. Générer un signal triangulaire*

Le signal triangulaire est souvent utilisé en modulation PWM pour servir de référence stable et permettre la modulation de la largeur d'impulsion des signaux fournis aux moteurs. Il est essentiel au fonctionnement de la fonction *comparer*.

### *2.2.5. Interfacer la puissance et varier la vitesse*

Cette fonction permet de convertir le signal de commande en une commande moteur exploitable. Elle adapte la puissance fournie aux moteurs en fonction du PWM.

## 2.3. Étude structurelle

### 2.3.1. Capter la ligne

Les deux capteurs de lignes présents sur le robot sont des **OPB704** (Cf. documentation en Annexe 1).

Le capteur est constitué d'un phototransistor associé à une diode infrarouge. La diode émet continuellement une lumière infrarouge, qui est réfléchie différemment en fonction de la surface rencontrée. Le phototransistor détecte cette réflexion et ajuste son signal en conséquence, permettant ainsi de distinguer les variations de contraste, comme une ligne claire sur un fond sombre.

La documentation nous informe que plus la lumière est diffusée (peu capté par le phototransistor) plus la tension à ses bornes est grande.

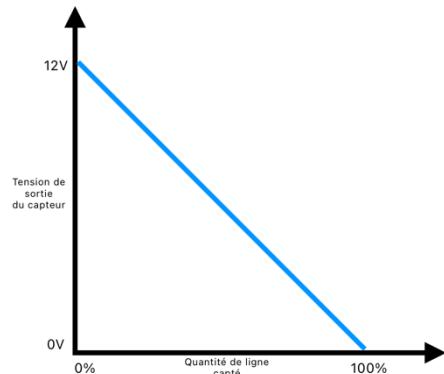
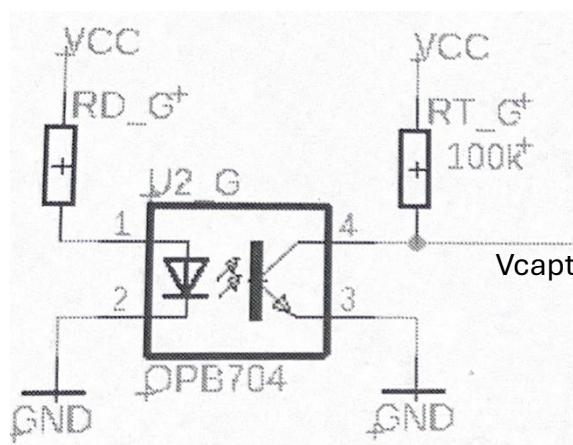


Schéma du montage :



Le cahier des charges nous impose une alimentation  $V_{CC} = 12V$ . La documentation du **OPB704** permet cette tension d'alimentation à condition de protéger correctement le capteur en courant.

Resistance de la diode :

La diode doit fonctionner avec un courant de  $10mA$ .

La tension  $V_D$  aux bornes de la diode est de  $1,7V$

La tension  $V_{RD}$  aux bornes de la résistance est :

$$V_{RD} = V_{CC} - V_D = 12 - 1,7 = 11,3V.$$

$$R_D = \frac{V_{RD}}{I_D} = \frac{11,3}{10} \approx 1k\Omega$$

Resistance du phototransistor :

**Lorsque  $V_{capt} = 12 V$  (lumière diffusée, non perçue par le transistor)**

La tension  $V_{RT}$  aux bornes de la résistance est :

$$V_{RT} = V_{CC} - V_{capt} (\text{voir schéma}) = 12 - 12 = 0V$$

D'après la documentation, le courant  $I_C$  consommé par le transistor dans cet état est :

$$I_C = 1,2 \mu A$$

Dans cet état la tension aux bornes de la résistance est de  $0V$ , on ne peut pas calculer sa valeur.

**Lorsque  $V_{capt} = 0 V$  (lumière réfléchie, perçue par le transistor)**

La tension  $V_{RT}$  aux bornes de la résistance est :

$$V_{RT} = V_{CC} - V_{capt} (\text{voir schéma}) = 12 - 0 = 12V$$

D'après la documentation, le courant  $I_C$  consommé par le transistor dans cet état est :

$$I_C = 100 \mu A$$

La résistance nécessaire lorsque le phototransistor capte la ligne est :

$$R_T = \frac{V_{RT}}{IC \text{ lumière refléchie}} = \frac{12}{100 \cdot 10^{-6}} \approx 120 k\Omega$$

### 2.3.2. Générer un signal triangulaire

Pour générer un signal triangulaire nous avons choisi un montage avec 2 amplificateur opérationnels **LM324N** (cf. documentation en Annexe 2).

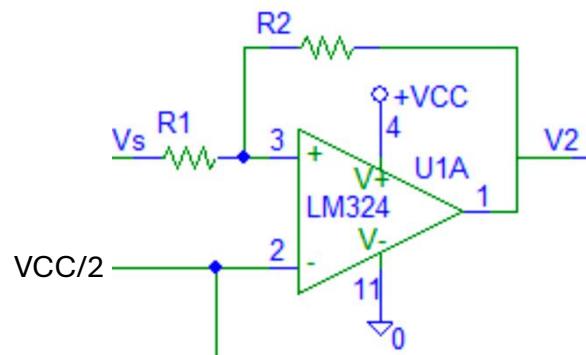
#### Comparateur à seuils (trigger de Schmitt) :

Le comparateur à seuils est un amplificateur opérationnel avec une résistance de rétroaction positive qui crée un cycle d'hystérésis. Il oscille entre deux niveaux définis par des résistances et la tension de référence.

- Lorsque la tension d'entrée dépasse le seuil supérieur  $V_{sH}$  la sortie du comparateur bascule à **0V**.
- Lorsque la tension d'entrée descend en dessous du seuil inférieur  $V_{sB}$ , la sortie bascule à **12V**.

*Calculs des seuils en annexe 3.*

La tension de sortie  $V_2$  est un signal carré oscillant entre 12V et 0V.

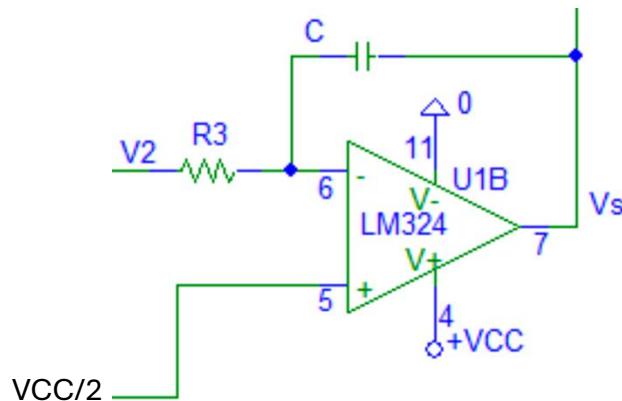


### Intégrateur inverseur :

L'intégrateur est un amplificateur opérationnel avec un condensateur en rétroaction, qui transforme un signal carré en signal triangulaire.

- Lorsque l'entrée reçoit **12V** (sortie haute du comparateur), le condensateur se charge linéairement, créant une pente descendante du signal triangulaire.
- Lorsque l'entrée est **0V**, le condensateur se décharge, créant une pente montante du signal triangulaire.

Mathématiquement l'intégrale d'une constante (ici 12V ou 0V) est une fonction linéaire, créant alors un signal triangulaire.



On choisit pour ce montage de prendre un condensateur de 10nF.

*Calcul de la résistance R3 en annexe 4.*

Comme le signal triangulaire a une variation symétrique autour de 0V et que les AOP **LM324N** sont alimentés entre 12 et 0V, il est nécessaire de décaler l'offset à **6V** pour que le signal puisse osciller correctement dans la plage 12V, 0V.

$6V = 12V/2$ . On ajoute alors un pont diviseur par 2 dans le montage avec 2 résistances choisies à  $1k\Omega$ .

La sortie Vs triangulaire de l'intégrateur est utilisée sur la borne non inverseuse du trigger de Schmitt afin d'être comparé avec la tension de référence de 6V pour générer un signal carré. Dans ce cas précis, on parle d'un oscillateur à relaxation, car le signal triangulaire se génère lui-même en étant utilisé pour créer le signal carré, qui en retour régule la formation du signal triangulaire.

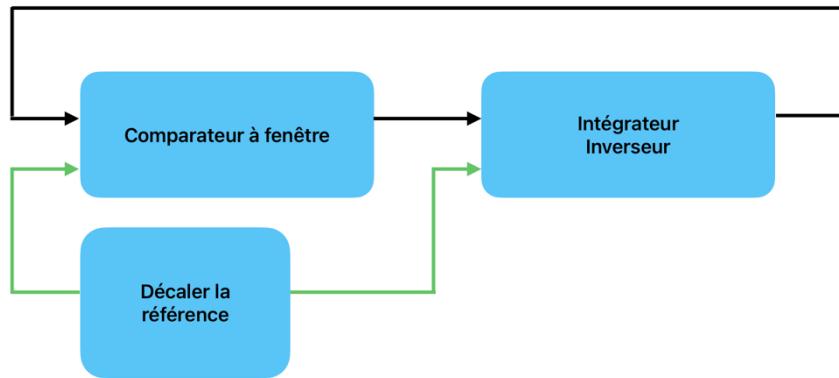
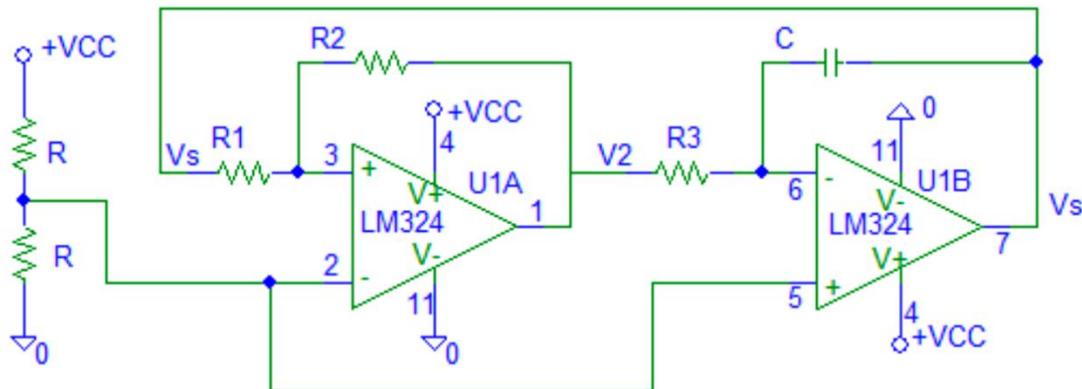


Schéma du montage :



Ce système est "**auto-entretenu**", il fonctionne sans intervention extérieure et permet d'embarquer un signal triangulaire sur la carte de commande du robot.

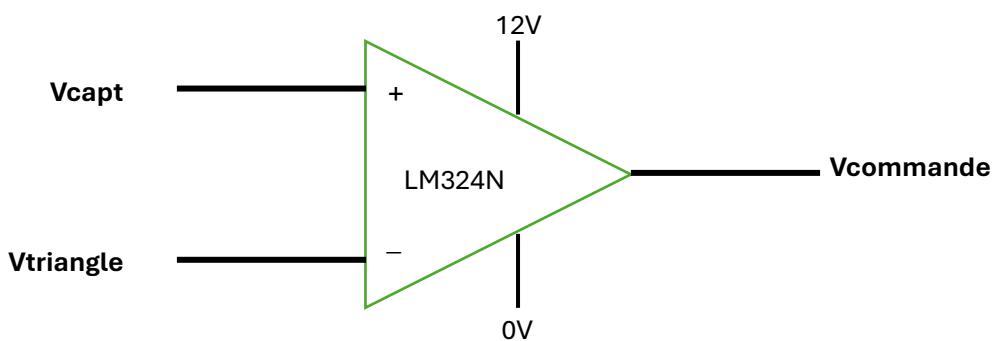
### 2.3.3. Comparer

Les moteurs montés sur le robot sont des moteurs à courant continu de tension nominale 12V. Pour faire varier la vitesse d'une machine à courant continu fonctionnant en moteur il faut faire varier la valeur moyenne de la tension à ses bornes. Ainsi à 12V le moteur tourne à 100% de sa vitesse, à 6V à 50% et à 0V, 0%.

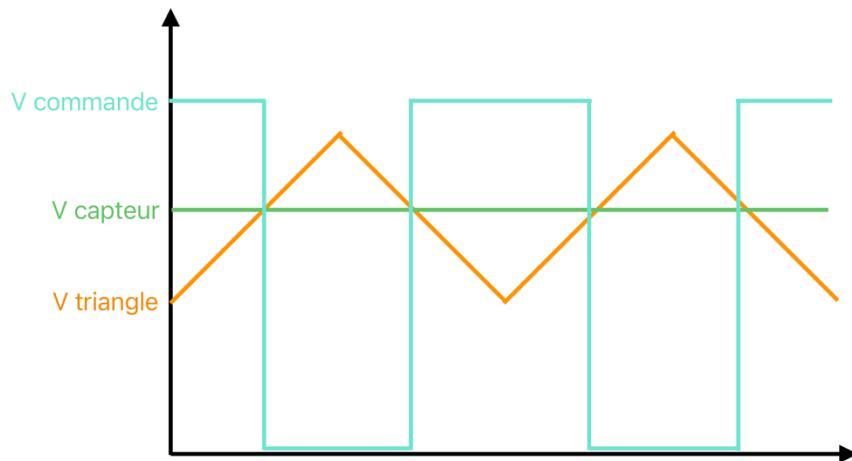
Pour faire varier la vitesse du moteur en fonction du capteur de ligne, on utilise une modulation par largeur d'impulsion (MLI). Le capteur de ligne fournit une tension qui dépend de la présence ou non de la ligne : 12V ou 0V (voir fonction *capter la ligne*).

Cette tension est ensuite comparée à un signal triangulaire (voir fonction *générer un signal triangulaire*). Nous avons choisi d'utiliser un amplificateur opérationnel **LM324N** (cf. documentation en Annexe 2) pour générer un signal carré dont le rapport cyclique (duty cycle) est proportionnel à la valeur du capteur. Ce signal MLI permet de faire varier la valeur moyenne de la tension aux bornes des moteurs. Ainsi, **plus le rapport cyclique est élevé**, plus la **tension moyenne fournie au moteur est grande**, et donc plus il tourne vite. À l'inverse, si le **rapport cyclique diminue**, la **tension moyenne diminue** également, réduisant la vitesse du moteur.

#### Schéma du montage :



Le LM324N fonctionne ici en comparateur, fournissant alors une tension Vcommande de 12V quand Vcapt > Vtriangle et 0V à l'inverse. Comme montrée sur l'oscillogramme d'exemple ci-dessous.

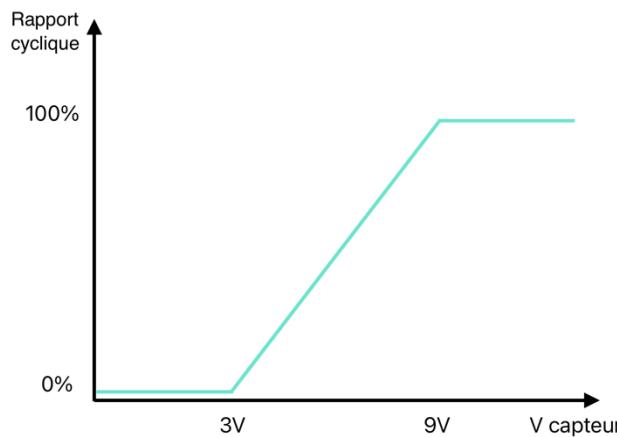


Le rapport cyclique de la tension Vcommande est donné par :

$$\alpha = \frac{\text{temps actif}}{\text{periode}}$$

Quand Vcapteur = 12V,  $\alpha = 100\%$ , le moteur tourne au maximum de sa vitesse.

Quand Vcapteur = 0V,  $\alpha$  tend vers 0%, le moteur ne tourne plus.

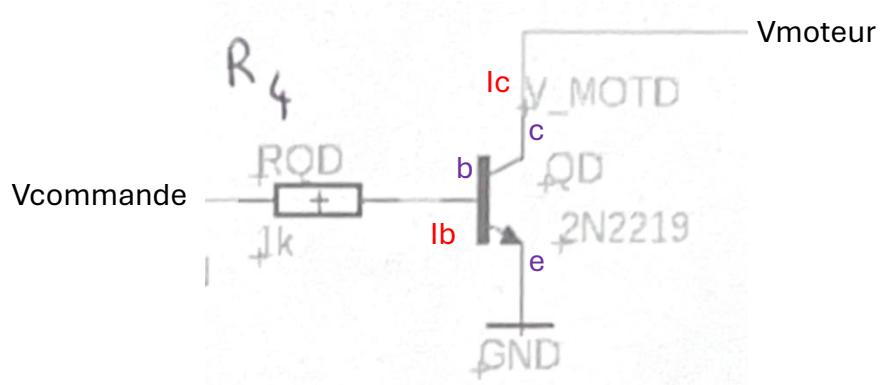


- De 0 à 3V, le rapport cyclique de  $V_{commande}$  est de 0%, le moteur ne tourne pas.
  - De 3 à 9V (plage dans laquelle  $V_{triangle}$  évolue), le rapport cyclique de  $V_{commande}$  est fonction de  $V_{capt}$ .
  - De 9 à 12V, le rapport cyclique de  $V_{commande}$  est de 100%, le moteur tourne au maximum de sa puissance.

#### 2.3.4. *Interfacer la puissance et varier la vitesse*

Pour interfaçer la puissance, nous utilisons un transistor bipolaire **2N2219** (cf. documentation en Annexe 5), qui agit comme un interrupteur commandé par le signal MLI. En modulant son activation, il permet de faire varier la tension moyenne appliquée au moteur, et donc d'ajuster sa vitesse. Lorsque le transistor est saturé, le moteur reçoit la tension d'alimentation : 12V, et lorsqu'il est bloqué, il ne reçoit aucune tension. Ce principe permet un contrôle efficace de la vitesse du moteur tout en isolant la commande de la puissance.

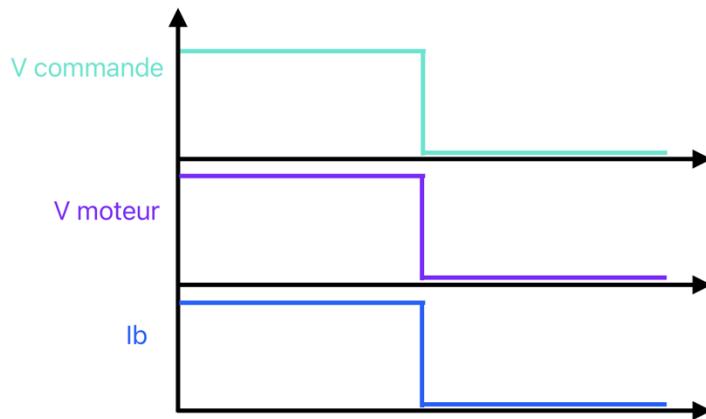
## Schéma du montage :



Le transistor **2N2219** est un transistor bipolaire NPN, il se **commande en courant**. Il faut donc ajouter une résistance sur la base du transistor afin d'avoir le courant nécessaire pour l'activer.

- Lorsque la tension  $V_{commande} = 0V$ , le courant  $I_b$  à la base du transistor est :  $I_b = 0A$ . Le transistor est bloqué,  $V_{moteur} = 0V$  le moteur ne tourne pas.

- Lorsque la tension  $V_{commande} = 12V$ , du courant à la base du transistor est consommé. Le transistor est saturé,  $V_{moteur} = 12V$ , le moteur tourne.



Le courant  $I_b$  d'un transistor bipolaire est :

$$I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

Avec  $\beta$  le gain en courant du transistor. D'après la documentation le **2N2219** possède un gain  $\beta = 100$ .

Un moteur du robot consomme 200mA en fonctionnement.

$$I_b = \frac{I_c}{\beta} = \frac{0,2}{100} = 2mA$$

Pour permettre au transistor de se fermer même si le moteur consomme plus de courant (en cote par exemple), on ajoute un coefficient de sursaturation  $k = 5$ .

$$I_b' = I_b * k = 2 * 5 = 10mA$$

La résistance  $R_b$  doit alors permettre d'apporter 10mA aux bornes de la base du transistor pour le fermer.

La tension  $V_{Rb} = V_{\text{commande}} - V_{BE}$

$V_{BE} = 0,6V$  (documentation).

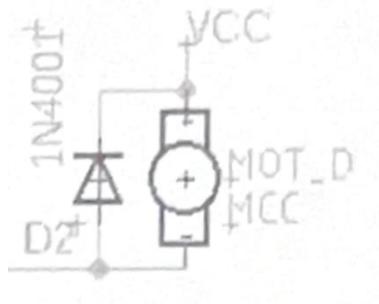
$$R_b = \frac{V_{RB}}{I_b} = \frac{12 - 0,6}{10 \cdot 10^{-3}} = 1k\Omega$$

### 2.3.5. *Moteurs*

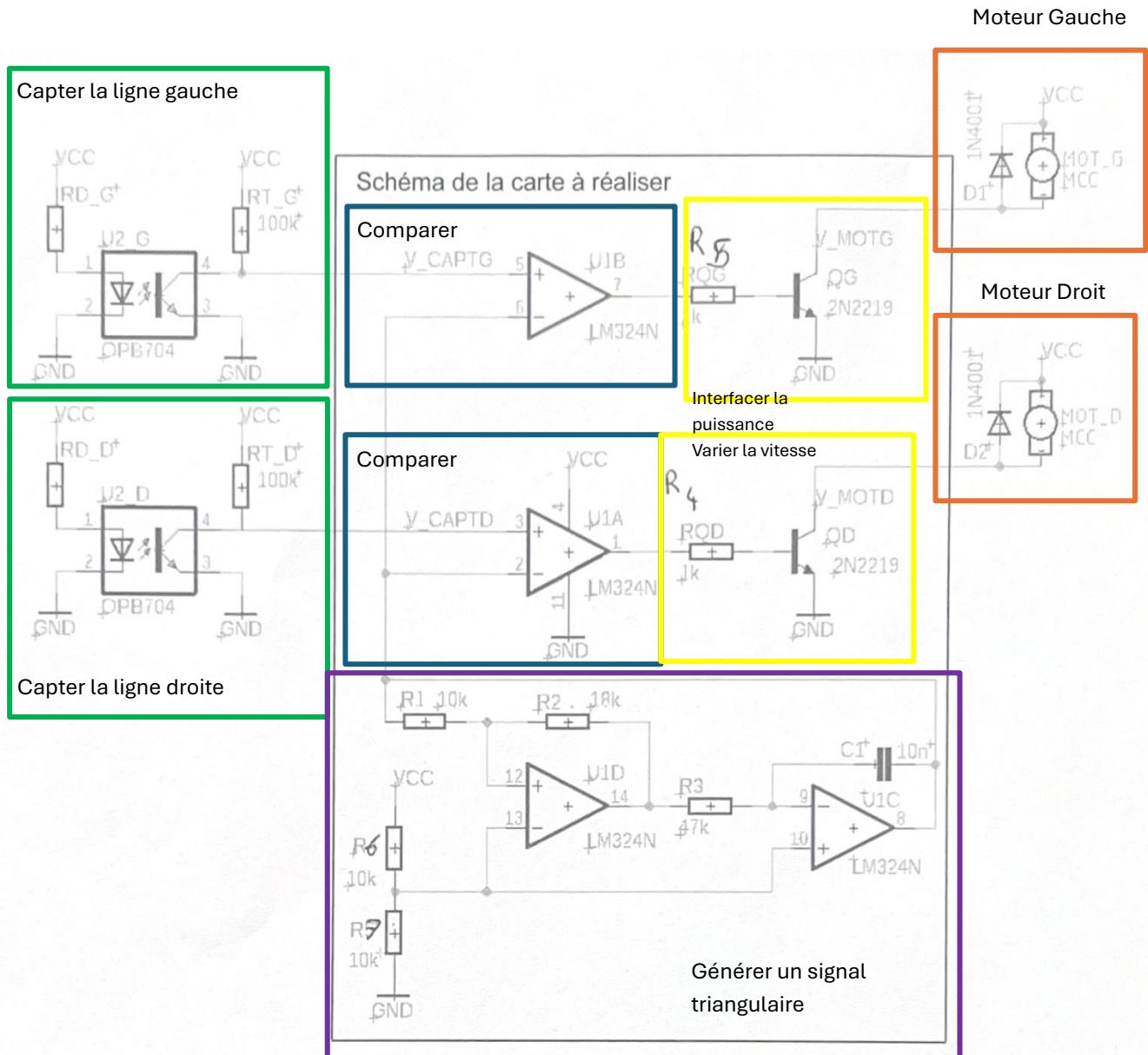
Les moteurs présents sur le robot sont des machines à courant continu de tension nominale 12V.

Nous ajoutons une diode de roue libre en parallèle avec chacun des moteurs pour protéger le circuit des surtensions induites par l'inductance interne des moteurs lorsqu'ils sont soudainement coupés (arrive fréquemment puisque commandés en MLI) offrant un chemin de décharge au courant auto-induit et évite ainsi d'endommager les composants de commande tels que les transistors bipolaires qui commandent les moteurs dans le montage et qui supportent très mal les surtensions.

### Schéma du montage :



## 2.4. Schéma structurel global



## 2.5. Analyse des essais et mesures

I.U.T. de Montpellier-Sète	Dépt G.E.I.I. Formation :	Groupe: B
Projet : Robot à commande analogique	Auteur : PLEVENAGE Killian FABIÉ Eliott	
Date: 04/02/2025		
<b>FICHE DE MESURES</b>		
Module sous test : Génération de triangle		
Objectif du test : Générer un signal triangulaire à partir d'une alimentation de 12V continue.		
Schéma du banc de test		
Procédure de test :	<p>Nous réalisons le montage ci-dessus alimenté en 12V continu à l'aide d'AOPs LM324N. Nous observons ensuite VS et V2 sur l'oscilloscope, le cycle d'hystéresis en mode XY avec <math>T_{on}</math> et <math>T_{off}</math>, nous relevons la fréquence F du signal triangulaire réalisé. On observe VSH et VSB (seuils de l'AOP) qui correspondent à <math>VS_{min}</math> et <math>VS_{max}</math>. On a <math>R = R1 = 10k\Omega</math>, <math>R2 = 18k\Omega</math> et <math>R3 = 47k\Omega</math></p>	

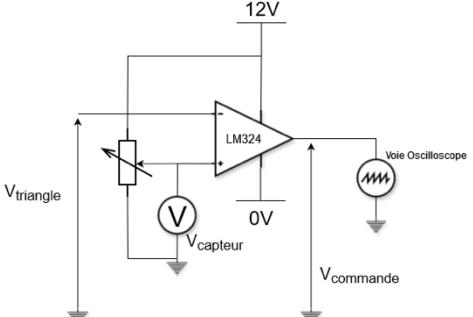
Résultats des mesures (oscillogrammes ou tableau de mesures ou caractéristiques) :



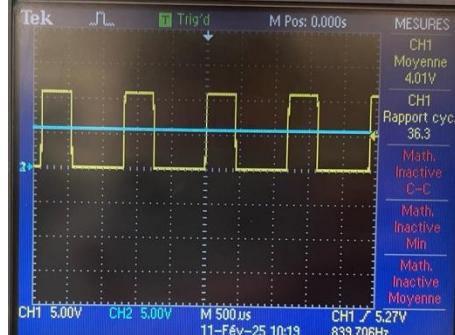
Voie 1 = V2 ; Voie 2 = VS

Commentaires : On remarque que le signal triangulaire est bien réalisé en sortie de notre montage ainsi que le signal carré V2. À l'aide des curseurs on observe  $T_{on} = 630\mu s$  et  $T = 1,19ms$ , donc  $T_{off} = T - T_{on} = 560\mu s$ . On relève une fréquence  $1/T$  environ égale à 840Hz. On mesure  $V_{SB} = 2,8V$  et  $V_{SH} = 9,8V$ . On a  $T_{on}/T = 0,53$  qui correspond à une différence de 3% par rapport à  $R1/R2 = 0,5$  théorique. On a une différence de 16% entre notre fréquence mesurée et celle théorique d'1KHz.

Conclusion : Ce montage nous permet de réaliser le signal triangulaire souhaité à partir de notre alimentation de 12V.

I.U.T. de Montpellier-Sète	Dépt G.E.I.I. Formation :	Groupe : B
Projet : Robot à commande Analogique	Auteur : FABIÉ Elliott, PLEVENAGE Killian	Date: 11/02/2025
<b>FICHE DE MESURES</b>		
Module sous test : Fonction Comparer		
Objectif du test : Vérifier que l'on créé bien une tension $V_{commande}$ à partir du signal triangulaire de la fonction générer un signal triangulaire et de la tension de sortie du capteur de ligne, ainsi que comparer la valeur de $\alpha$ du signal $V_{commande}$ en théorie et en pratique.		
Schéma du banc de test :		
		
Procédure de test :		
<p>Nous relevons à l'oscilloscope la sortie <math>V_{commande}</math> du LM324N sur la voie 1 et la tension <math>V_{capteur}</math> sur la voie 2.</p> <p>Nous faisons varier la tension <math>V_{capteur}</math> en la simulant avec un potentiomètre et relevons les oscillogrammes des signaux observés.</p> <p>On vérifie que <math>\alpha = (V_{capteur} - V_{triangle \ min}) / (V_{triangle \ max} - V_{triangle \ min})</math>. Donc que <math>\alpha</math> est fonction de <math>V_{capteur}</math>.</p>		

Résultats des mesures (oscilloscopes ou tableau de mesures ou caractéristiques) :



Commentaires :

Lorsque l'on augmente la tension  $V_{capteur}$ , la valeur de  $\alpha$  augmente également. De même lorsque  $V_{commande}$  diminue,  $\alpha$  tend vers 0. La valeur de  $\alpha V_{commande}$  est proportionnelle à  $V_{capteur}$  dans la plage de tension de  $V_{triangle}$  (3 à 9V).

Pour  $V_{capt} = 7V$  :  $\alpha_{Th} = (7 - 3) / (9 - 3) = 67\%$  → On observe à l'oscilloscope  $\alpha = 61,4\%$ , à a donc un écart de : 8,4%

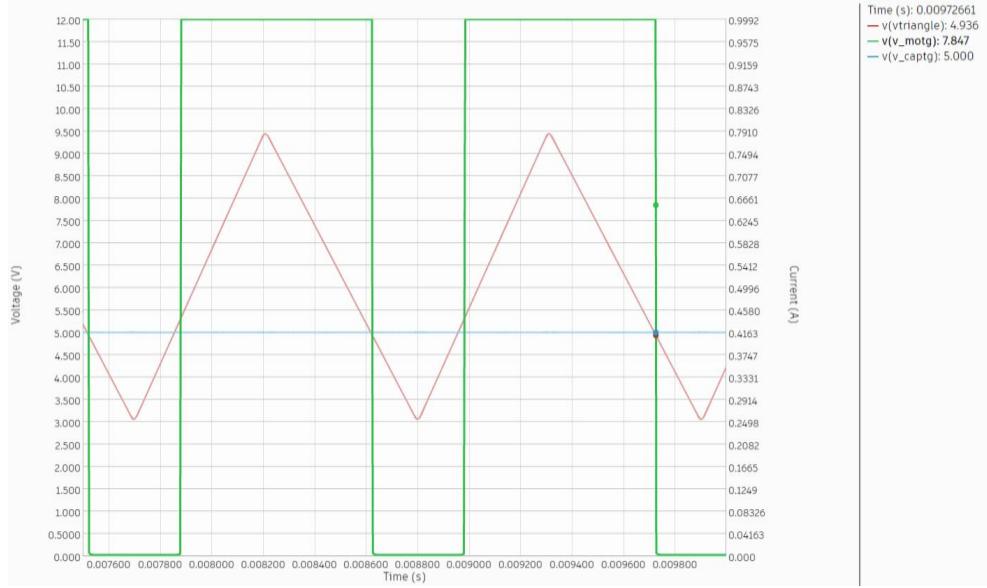
Pour  $V_{capt} = 5,5V$  :  $\alpha_{Th} = (5,5 - 3) / (9 - 3) = 42\%$  → On observe à l'oscilloscope  $\alpha = 36,3\%$ , à a donc un écart de : 13,5%

Pour  $V_{capt} = 3,8V$  :  $\alpha_{Th} = (3,8 - 3) / (9 - 3) = 13\%$  → On observe à l'oscilloscope  $\alpha = 11,5\%$ , à a donc un écart de : 13,5%

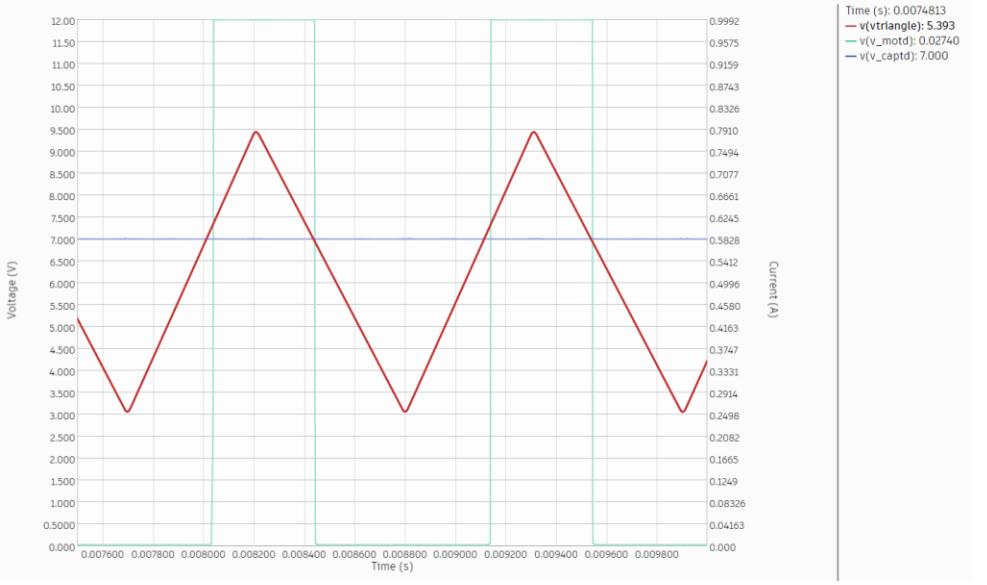
Conclusion : La tension  $V_{commande}$  est bien générée à partir du signal triangulaire et de la tension du capteur de ligne. La valeur de  $\alpha$  varie bien linéairement dans la plage de tension du signal triangulaire.

Nous saisissons le schéma électrique du système et observons en simulation les signaux Vtriangle, V\_moteur\_gauche, V\_moteur\_droit et choisissons Vcapteur\_gauche = 5V et Vcapteur\_droit = 7V.

### Moteur Gauche :



### Moteur Droit :



La fréquence du signal en simulation est  $F = 1/0,001 = 1\text{kHz}$ .

Le seuil de basculement correspond à la tension du capteur. Il est ici de 5V pour le moteur gauche et de 7V pour le moteur droit.

Plus la tension capteur est petite devant la tension du signal triangulaire, plus la valeur moyenne de la tension  $V_{CE}$  est grande (rapport cyclique grand).

Plus la tension capteur est grande devant la tension du signal triangulaire, plus la valeur moyenne de la tension  $V_{CE}$  est petite (rapport cyclique petit).

Le rapport cyclique de la tension  $V_{CE}$  gauche quand la tension capteur est à 5V est de : 67%.

Le rapport cyclique de la tension  $V_{CE}$  droite quand la tension capteur est à 7V est de : 33%.

La tension que nous observons est celle présente entre le collecteur et l'émetteur du transistor commandant le moteur. On peut obtenir  $V_{moteur} = 12V - V_{CE}$ .

Le rapport cyclique de la tension  $V_{moteur}$  gauche quand la tension capteur est à 5V est de : 33%.

Le rapport cyclique de la tension  $V_{moteur}$  droite quand la tension capteur est à 7V est de : 67%.

Quand la tension  $V_{ce} = 12V$ , la tension  $V_{moteur} = 0V$ .

Quand la tension  $V_{ce} = 0V$ , la tension  $V_{moteur} = 12V$ .

Nous retrouvons bien en simulation le fonctionnement attendu de la modulation par largeur d'impulsion. Les tensions de déchets propres aux AOP sont néanmoins absentes à cause de caractère « parfait » des simulations.

### **3. RÉALISATION**

#### **3.1. Dossier de fabrication**

**Procédure à suivre pour la fabrication de la carte de commande analogique du robot :**

##### **1 Vérification du circuit imprimé**

###### **1.1 Analyse visuelle**

- Vérifier l'absence de coupures et de courts-circuits,
- Corriger ces imperfections.

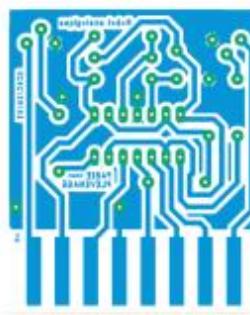
###### **1.2 Analyse électrique**

- A l'aide d'un ohmmètre, vérifier l'absence de coupures et de courts-circuits,
- Corriger ces imperfections.

##### **2 Soudage**

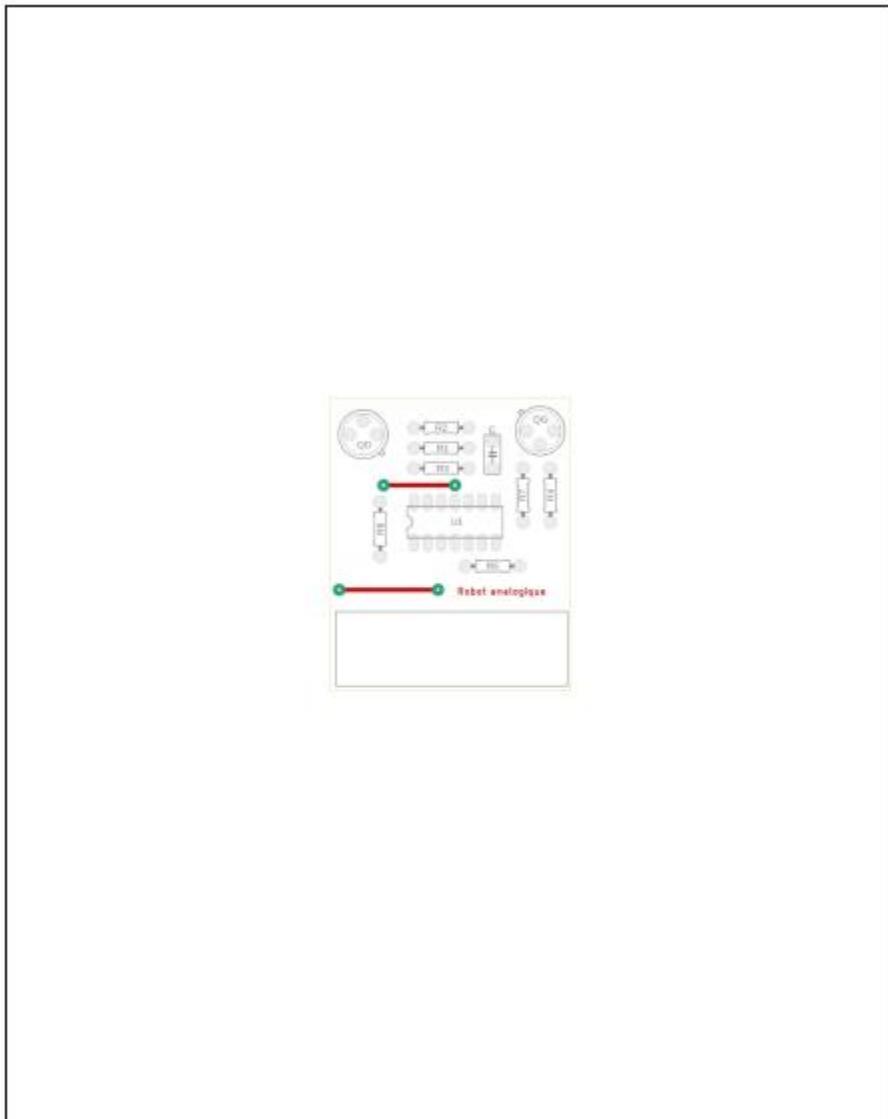
- Commencer par les composants de plus petite taille (straps et résistances notamment).
- Terminer par les composants plus volumineux (supports de circuit intégré, potentiomètres par exemple).

**Typon du circuit imprimer à réaliser :**



I.U.T. de Montpellier	Dépt G.E.I.I. 1 <sup>ère</sup> année	Groupe : B
Projet : Robot Analogique	Auteur : PLEVENAGE, FABIÉ	Date : 18/03/2025
Sous-ensemble :	Vérification Auteur :	
Intitulé : Typon	Date :	

## Schéma d'implantation des composants de la carte à réaliser :



I.U.T. de Montpellier	Dépt G.E.I.I. 1 <sup>ère</sup> année	Groupe : B
Projet : Robot Analogique		Auteur : PLEVENAGE, FABIÉ
		Date : 18/03/2025
Sous-ensemble :		Vérification Auteur :
Intitulé : Implémentation des composants		Date :

## **Nomenclature des composants :**

## 3.2. Essais et mesures de la réalisation

### **Procédure de vérification :**

#### **Vérifier la fonction : *Générer un signal triangulaire***

S'il y a un support de circuit intégré (CI), tester et relever les alimentations avant de plugger le CI.

Composants concernés (référence) : U1, R1, R2 R3, C et R

Nom du (des) signal(aux) observés : V2 et Vs

Où se font les mesures ? Sur les sorties de l'AOP LM324N (U1)

Appareils nécessaires : Alimentation continue, Oscilloscope

#### **Vérifier la fonction : *Comparer et Amplifier***

S'il y a un support de circuit intégré (CI), tester et relever les alimentations avant de plugger le CI.

Composants concernés (référence) : U1

Nom du (des) signal(aux) observés : Vtriangle, Vcapteur et Vcommande

Où se font les mesures ? Vtriangle est situé à la borne e+ de l'AOP, Vcapteur est situé à la borne e- de l'AOP et Vcommande est en sortie de l'AOP

Appareils nécessaires : Alimentation continue, Oscilloscope

Nous avons tout d'abord observé la carte afin de réaliser un contrôle visuel. Ensuite, nous avons testé toutes les pistes en V.A.T. (Vérification d'Absence de Tension) ainsi qu'en continuité.

Après cette première phase de vérification, nous avons procédé à la soudure des composants, suivie d'une nouvelle V.A.T. et d'un second test de continuité pour vérifier que toutes les connexions étaient correctes.

Une fois ces étapes validées, nous avons testé l'ensemble des fonctions de la carte.

Pour simuler la tension des capteurs de ligne, nous avons utilisé une alimentation variable. Nous avons également branché un moteur de test afin de vérifier le bon fonctionnement de la carte avant de l'installer sur le robot.

Ces tests ont été concluants : la variation de la tension des capteurs permet bien de ralentir le moteur, confirmant ainsi le bon comportement du système.

## **4. CONCLUSION**

Ce projet de conception et fabrication d'une carte de commande pour un robot suiveur de ligne s'est déroulé en plusieurs étapes: définition du cahier des charges, élaboration du schéma fonctionnel et structurel, création du circuit imprimé, assemblage et tests.

Parmi les difficultés rencontrées, nous avons dû étudier le routage afin de nous adapter à une carte mono-couche, optimisant ainsi le placement des composants et minimisant les ponts filaires. De plus, il a été essentiel de vérifier que les tests en simulation et les tests des différentes parties du circuit fonctionnent de manière indépendante pour s'assurer qu'ils assurent bien leurs fonctions une fois la carte assemblée.

Les tests ont validé le bon fonctionnement du robot, les écarts entre les essais et la théorie sont faibles et permettent au robot de fonctionner correctement.

Ce projet nous a permis d'acquérir une expérience en conception de circuits électronique, en prototypage et en vérification de fonctionnement de systèmes analogiques embarqués.

## 5. ANNEXES

### 5.1. Annexe 1 : OPB704



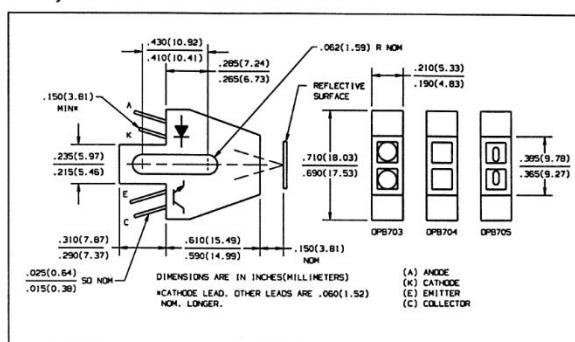
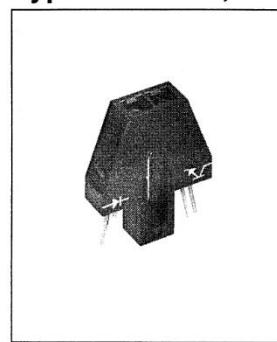
UE1.1/2 - UE2.1/2  
SAE  
Documentation technique



#### 13. OPB704

Product Bulletin OPB703  
June 1996

### Reflective Object Sensors Types OPB703, OPB704, OPB705



#### Features

- Phototransistor output
- High sensitivity
- Low cost plastic housing
- Available with lenses for dust protection and ambient light filtration

#### Description

The OPB703, OPB704 and OPB705 each consist of an infrared emitting diode and an NPN silicon phototransistor mounted side-by-side on converging optical axes in a black plastic housing. The phototransistor responds to radiation from the emitter only when a reflective object passes within its field of view. Various options allow no lens, blue polysulfone lens for dust protection or offset lens for improved resolution.

#### Absolute Maximum Ratings ( $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted)

Storage and Operating Temperature .....  $-40^\circ C$  to  $+85^\circ C$   
Lead Soldering Temperature [1/16 inch (1.6 mm) from case for 5 sec. with soldering iron] .....  $240^\circ C^{(1)}$

#### Input Diode

Forward DC Current ..... 40 mA  
Reverse DC Voltage ..... 2.0 V  
Power Dissipation ..... 100 mW<sup>(2)</sup>

#### Output Phototransistor

Collector-Emitter Voltage ..... 30 V  
Emitter-Collector Voltage ..... 5.0 V  
Collector DC Current ..... 25 mA  
Power Dissipation ..... 100 mW<sup>(2)</sup>

#### Notes:

- (1) RMA flux is recommended. Duration can be extended to 10 sec. max when flow soldering.
- (2) Derate linearly 1.67 mW<sup>2</sup> C above  $25^\circ C$ .
- (3) d is the distance from the assembly face to the reflective surface.
- (4) Lower curve is based on a calculated worst case condition rather than the conventional  $-2\sigma$  limit.
- (5) All parameters tested using pulse technique.
- (6) Crosstalk is the photocurrent measured with current to the input diode and no reflecting surface.
- (7) Measured using Eastman Kodak neutral white test card with 90% diffuse reflectance as a reflecting surface. Reference: Eastman Kodak, Catalog #1257795.

#### DESCRIPTION

OPB703  
OPB704  
OPB705  
No Lens  
Blue Polysulfone Lens  
Offset Lens

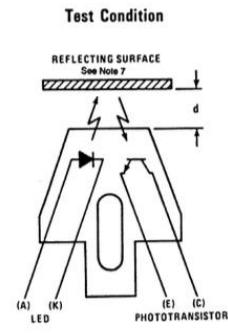
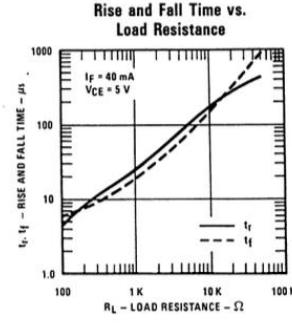
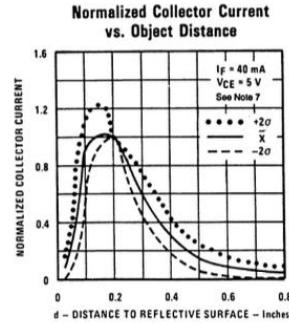
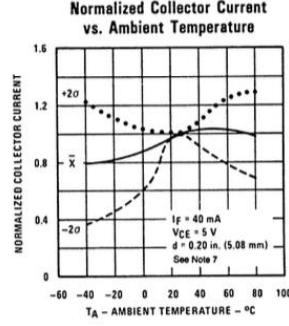
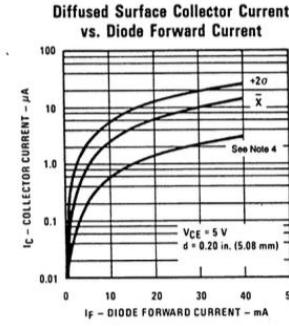
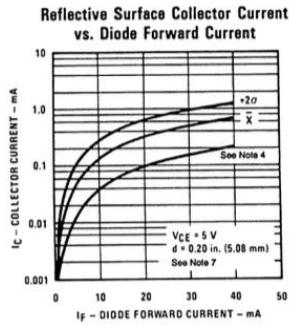
## Types OPB703, OPB704, OPB705

Electrical Characteristics ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

SYMBOL	PARAMETER	MIN	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
<b>Output Diode</b>					
$V_F$	Forward Voltage		1.70	V	$I_F = 40\text{ mA}$
$I_R$	Reverse Current		100	$\mu\text{A}$	$V_R = 2.0\text{ V}$
<b>Output Phototransistor</b>					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	30		V	$I_{CEO} = 100\text{ }\mu\text{A}$
$V_{(BR)ECO}$	Emitter-Collector Breakdown Voltage	5.0		V	$I_{EC} = 100\text{ }\mu\text{A}$
$I_{CEO}$	Collector Dark Current		100	nA	$V_{CE} = 10.0\text{ V}$ , $I_F = 0$ , $E_e = 0$
<b>Combined</b>					
$I_{C(ON)}$	On-State Collector Current	OPB703 200		$\mu\text{A}$	$V_{CE} = 5.0\text{ V}$ , $I_F = 40\text{ mA}$ , $d = 0.15\text{ inch (3.81 mm)}$ <sup>(3)(7)</sup>
		OPB704 200		$\mu\text{A}$	
		OPB705 100		$\mu\text{A}$	
$I_{CX}$	Crosstalk	OPB703 20		$\mu\text{A}$	$V_{CE} = 5.0\text{ V}$ , $I_F = 40\text{ mA}$ <sup>(6)</sup>
		OPB704 20		$\mu\text{A}$	
		OPB705 10		$\mu\text{A}$	

REFLECTIVE  
OBJECT  
SENSORS

### Typical Performance Curves



Optek reserves the right to make changes at any time in order to improve design and to supply the best product possible.  
 Optek Technology, Inc. 1215 W. Crosby Road Carrollton, Texas 75006 (972)323-2200 Fax (972)323-2396

## 5.2. Annexe 2 : LM324N



UE1.1/2 - UE2.1/2  
SAE  
Documentation technique



Philips Semiconductors

Product data

### Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/  
SA534/LM2902

#### DESCRIPTION

The LM124/SA534/LM2902 series consists of four independent, high-gain, internally frequency-compensated operational amplifiers designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages.

#### UNIQUE FEATURES

In the linear mode, the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

The unity gain crossover frequency and the input bias current are temperature-compensated.

#### FEATURES

- Internally frequency-compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature-compensated)
- Wide power supply range Single supply: 3 V<sub>DC</sub> to 30 V<sub>DC</sub> or dual supplies:  $\pm 1.5$  V<sub>DC</sub> to  $\pm 15$  V<sub>DC</sub>
- Very low supply current drain: essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V<sub>DC</sub>)
- Low input biasing current: 45 nA<sub>DC</sub> (temperature-compensated)
- Low input offset voltage: 2 mV<sub>DC</sub> and offset current: 5 nA<sub>DC</sub>
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage: 0V<sub>DC</sub> to V<sub>CC</sub>-1.5 V<sub>DC</sub> swing

#### ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55 °C to +125 °C	LM124N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-25 °C to +85 °C	LM224D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25 °C to +85 °C	LM224N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 °C to +70 °C	LM324D	SOT108-1
14-Pin Plastic Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP)	0 °C to +70 °C	LM324DH	SOT402-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 °C to +70 °C	LM324N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 °C to +70 °C	LM324AD	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 °C to +70 °C	LM324AN	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40 °C to +85 °C	SA534D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40 °C to +85 °C	SA534N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40 °C to +125 °C	LM2902D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40 °C to +125 °C	LM2902N	SOT27-1
14-Pin Plastic Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP)	-40 °C to +125 °C	LM2902DH	SOT402-1

#### PIN CONFIGURATION

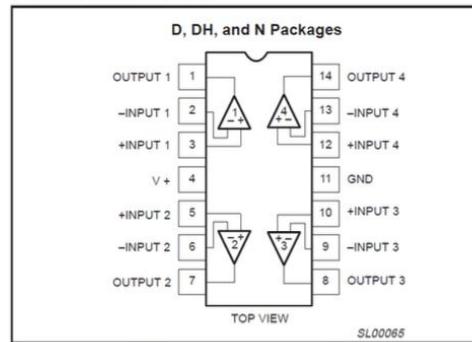


Figure 1. Pin configuration.

### 5.3. Annexe 3 : Calcul des seuils VsH, VsB

- Tension à la borne inverseuse du **LM324N** :  $E^- = Vcc/2$

- Tension à la borne non inverseuse du **LM324N** :  $E^+ = VS \frac{R2}{R2+R1} + V2 \frac{R1}{R1+R2}$

Nous savons que V2 ne peut prendre que 2 valeurs : Vcc, 0V ;

**Au basculement :  $E^+ = E^-$  :**

$$Vcc/2 = VS \frac{R2}{R2+R1} + V2 \frac{R1}{R1+R2} \Leftrightarrow VS \frac{R2}{R2+R1} = Vcc/2 - V2 \frac{R1}{R1+R2}$$

$$\Leftrightarrow VS = \frac{R2+R1}{R2} (Vcc/2 - V2 \frac{R1}{R1+R2})$$

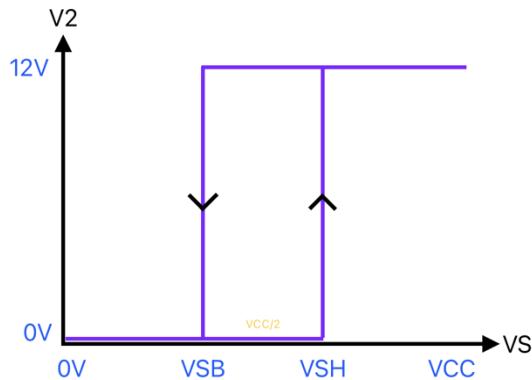
**Lorsque  $V2 = 0$  :**

$$VSH = (1 + \frac{R1}{R2}) * Vcc/2 = Vcc/2 + \frac{R1}{R2} * Vcc/2$$

**Lorsque  $V2 = Vcc$  :**

$$VSB = Vcc/2 - \frac{R1}{R2} * Vcc/2$$

**On obtient donc le cycle d'hystérésis suivant :**



Pour le système nous avons choisi une oscillation du signal triangulaire entre 3 et 9 V. Le seuil VSB doit alors être à 3V et le seuil VSH à 9V.

$$VSH = Vcc/2 + \frac{R1}{R2} * Vcc/2 = 9V = 6V + \frac{R1}{R2} * 6V \Leftrightarrow \frac{R1}{R2} = \frac{1}{2}$$

$$VSH = Vcc/2 - \frac{R1}{R2} * Vcc/2 = 3V = 6V - \frac{R1}{R2} * 6V \Leftrightarrow \frac{R1}{R2} = \frac{1}{2}$$

Nous avons alors choisi pour le système **R1 = 10kΩ et R2 = 18 kΩ**.

## 5.4. Annexe 4 : Calcul de la résistance R3

Dans le trigger de Schmitt :  $E^+ = E^- = Vcc/2$

$Vr3$  (tension aux bornes de R3) =  $V2 - Vcc/2$

Le courant  $i$  du circuit est :  $i_1 = \frac{VR3}{R3} = \frac{V2 - Vcc/2}{R3}$

$Vc$  (tension aux bornes du condensateur) =  $Vcc/2 - Vs$

Le courant qui circule dans un condensateur est donné par la relation :  $i = C \cdot \frac{dVc}{dt}$

Le courant  $i$  du circuit est alors aussi :  $i_2 = C \cdot \frac{dVc}{dt} = -C \cdot \frac{dVs}{dt}$

On peut alors dire que :  $i_1 = i_2$

$$\frac{V2 - Vcc/2}{R3} = -C \cdot \frac{dVs}{dt} \Leftrightarrow \frac{V2 - Vcc/2}{R3} = -C \cdot \frac{\Delta Vs}{\Delta t}$$

$Vs$  est un signal triangulaire oscillant entre 9 et 3V ;  $\Delta Vs = 6V = Vcc/2$

Donc  $\Delta t = \text{une demi periode} = T/2$

On a donc :

$$\frac{V2 - 6}{R3} = -C \cdot \frac{6}{T/2} \Leftrightarrow Vcc - 6 = \frac{R3 \cdot C \cdot 6}{T/2} \Leftrightarrow 6 \cdot T/2 = R3 \cdot C \cdot 6$$

$$\Leftrightarrow R3 \cdot C = T/2$$

$$C = 10nF ; F = 1kHz$$

$$T = 1/F = 1ms ; T/2 = 0,5ms$$

$$R3 = \frac{0,5}{10} = 50k\Omega$$

Nous prendrons dans le montage  $R3 = 47 k\Omega$ . Une valeur normalisée de la série E12 que nous avons décidé d'utiliser.

## 5.5. Annexe 5 : 2N2219



## UE1.1/2 - UE2.1/2 SAE Documentation technique



## 16. 2N2219A/22A



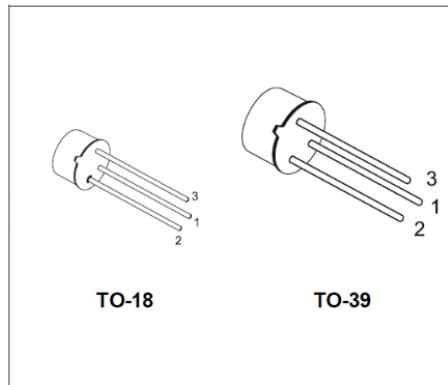
2N2219A  
2N2222A

## HIGH SPEED SWITCHES

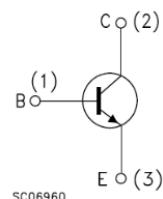
## PRELIMINARY DATA

## DESCRIPTION

The 2N2219A and 2N2222A are silicon Planar Epitaxial NPN transistors in Jedec TO-39 (for 2N2219A) and in Jedec TO-18 (for 2N2222A) metal case. They are designed for high speed switching application at collector current up to 500mA, and feature useful current gain over a wide range of collector current, low leakage currents and low saturation voltage.



## INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage ( $I_E = 0$ )	75	V
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	40	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	6	V
$I_C$	Collector Current	0.6	A
$I_{CM}$	Collector Peak Current ( $t_p < 5$ ms)	0.8	A
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25$ °C for 2N2219A	0.8	W
	for 2N2222A	0.5	W
	at $T_c \leq 25$ °C		
	for 2N2219A	3	W
	for 2N2222A	1.8	W
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 175	°C
$T_j$	Max. Operating Junction Temperature	175	°C

## 2N2219A / 2N2222A

### THERMAL DATA

			TO-39	TO-18	
$R_{thj-case}$	Thermal Resistance Junction-Case	Max	50	83.3	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$
$R_{thj-amb}$	Thermal Resistance Junction-Ambient	Max	187.5	300	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_{case} = 25^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$I_{CBO}$	Collector Cut-off Current ( $I_E = 0$ )	$V_{CB} = 60 \text{ V}$ $V_{CB} = 60 \text{ V} \quad T_j = 150^{\circ}\text{C}$			10 10	$\text{nA}$ $\mu\text{A}$
$I_{CEX}$	Collector Cut-off Current ( $V_{BE} = -3\text{V}$ )	$V_{CE} = 60 \text{ V}$			10	$\text{nA}$
$I_{BEX}$	Base Cut-off Current ( $V_{BE} = -3\text{V}$ )	$V_{CE} = 60 \text{ V}$			20	$\text{nA}$
$I_{EBO}$	Emitter Cut-off Current ( $I_C = 0$ )	$V_{EB} = 3 \text{ V}$			10	$\text{nA}$
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage ( $I_E = 0$ )	$I_C = 10 \mu\text{A}$	75			$\text{V}$
$V_{(BR)CEO}^*$	Collector-Emitter Breakdown Voltage ( $I_B = 0$ )	$I_C = 10 \text{ mA}$	40			$\text{V}$
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage ( $I_C = 0$ )	$I_E = 10 \mu\text{A}$	6			$\text{V}$
$V_{CE(sat)}^*$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150 \text{ mA} \quad I_B = 15 \text{ mA}$ $I_C = 500 \text{ mA} \quad I_B = 50 \text{ mA}$			0.3 1	$\text{V}$ $\text{V}$
$V_{BE(sat)}^*$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 150 \text{ mA} \quad I_B = 15 \text{ mA}$ $I_C = 500 \text{ mA} \quad I_B = 50 \text{ mA}$	0.6		1.2 2	$\text{V}$ $\text{V}$
$h_{FE}^*$	DC Current Gain	$I_C = 0.1 \text{ mA} \quad V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 1 \text{ mA} \quad V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA} \quad V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA} \quad V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 500 \text{ mA} \quad V_{CE} = 10 \text{ V}$ $I_C = 150 \text{ mA} \quad V_{CE} = 1 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA} \quad V_{CE} = 10 \text{ V}$ $T_{amb} = -55^{\circ}\text{C}$	35 50 75 100 40 50 35		300	
$h_{fe}^*$	Small Signal Current Gain	$I_C = 1 \text{ mA} \quad V_{CE} = 10 \text{ V} \quad f = 1\text{KHz}$ $I_C = 10 \text{ mA} \quad V_{CE} = 10 \text{ V} \quad f = 1\text{KHz}$	50 75		300 375	
$f_T$	Transition Frequency	$I_C = 20 \text{ mA} \quad V_{CE} = 20 \text{ V}$ $f = 100 \text{ MHz}$		300		$\text{MHz}$
$C_{EBO}$	Emitter-Base Capacitance	$I_C = 0 \quad V_{EB} = 0.5 \text{ V} \quad f = 100\text{KHz}$			25	$\text{pF}$
$C_{CBO}$	Collector-Base Capacitance	$I_E = 0 \quad V_{CB} = 10 \text{ V} \quad f = 100 \text{ KHz}$			8	$\text{pF}$
$R_{e(hie)}$	Real Part of Input Impedance	$I_C = 20 \text{ mA} \quad V_{CE} = 20 \text{ V}$ $f = 300\text{MHz}$			60	$\Omega$

\* Pulsed: Pulse duration = 300  $\mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 1\%$