

Rapport de projet

ROBOT SUIVEUR DE LIGNE À COMMANDE ANALOGIQUE



Eliott FABIÉ
Killian PLEVENAGE

Table des matières

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

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%**.

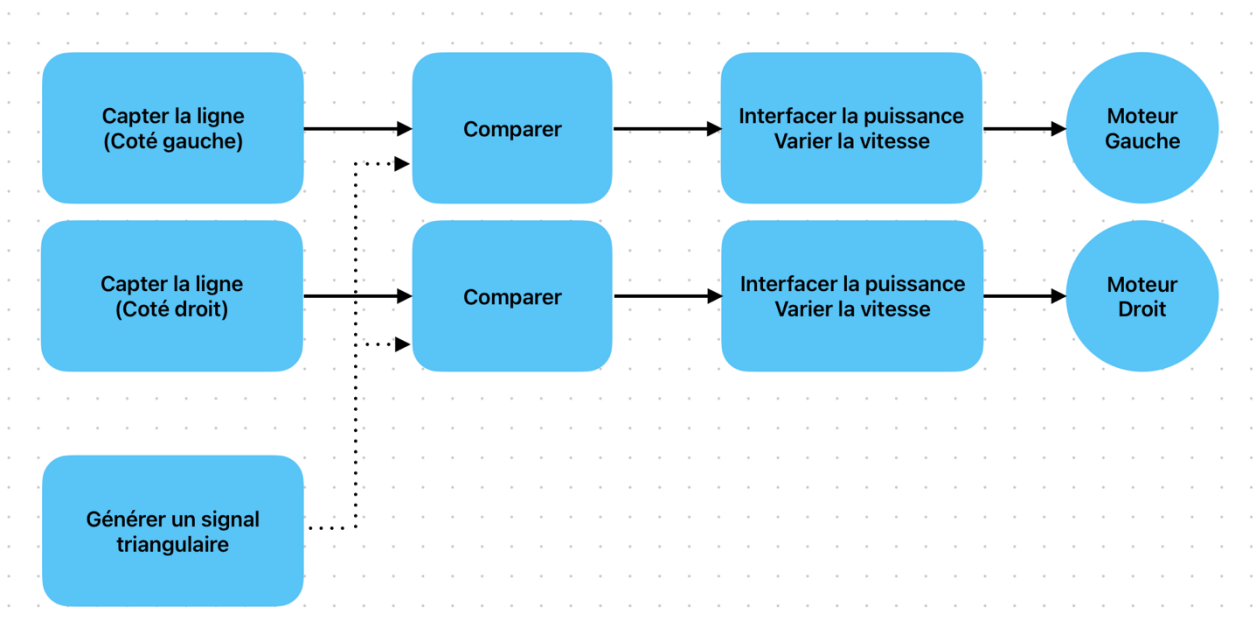
2.2. Étude fonctionnelle

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 a 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 réfléchiée 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 a ses bornes est grande.

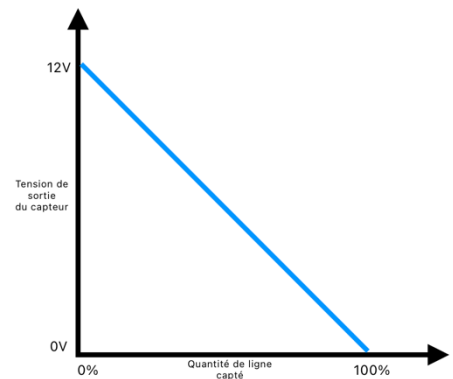
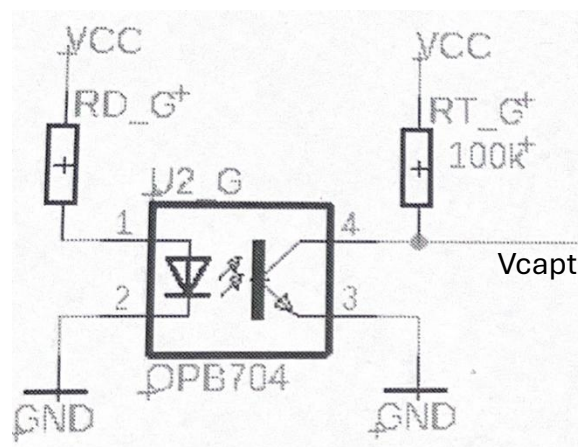


Schéma du montage :



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 :

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

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

Resistance du phototransistor :

Lorsque $V_{capt} = 12 V$ (lumière diffusée, non perçu 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, perçu 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 :

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

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).

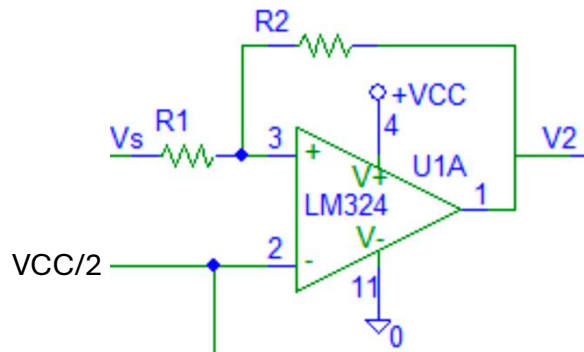
Comparateur à seuils (trigger de Schmitt) :

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.

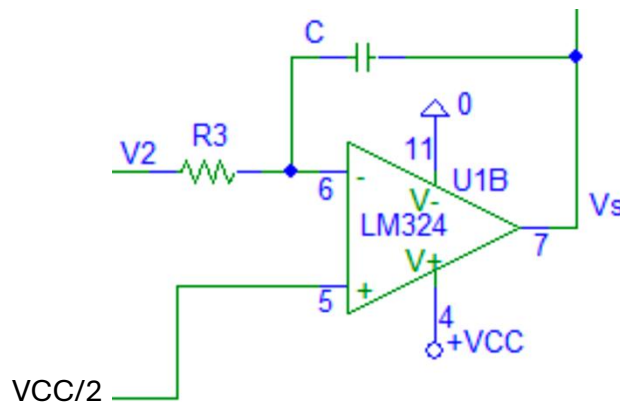


Intégrateur inverseur :

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 choisi 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 Ω .

La sortie V_s 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.

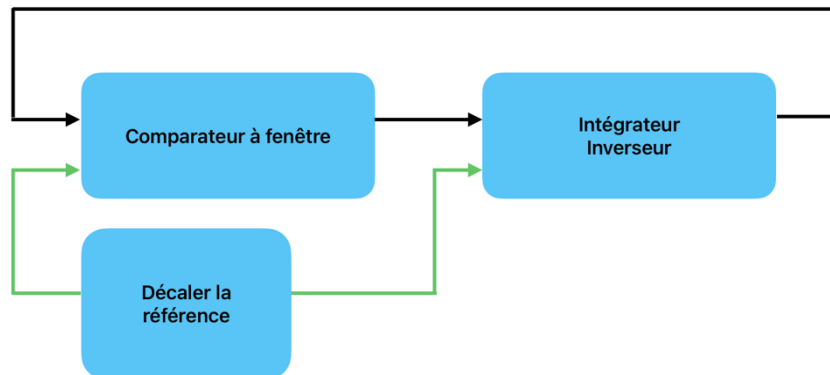
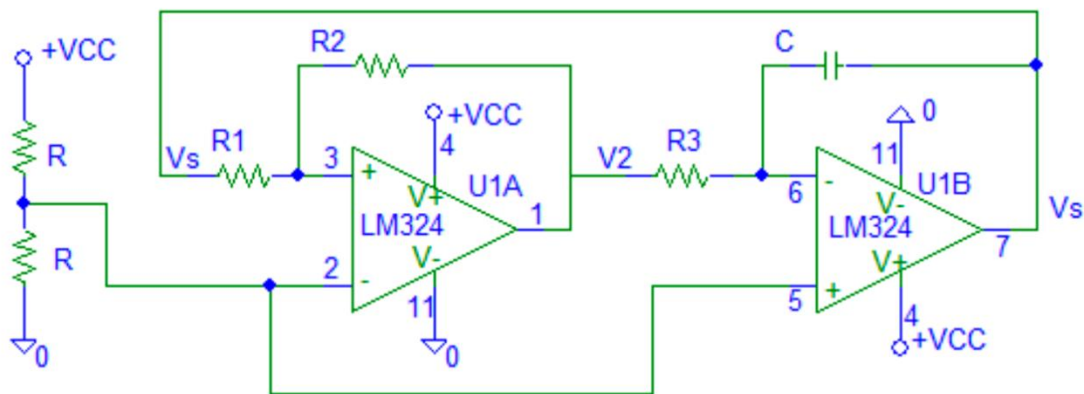


Schéma du montage :



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

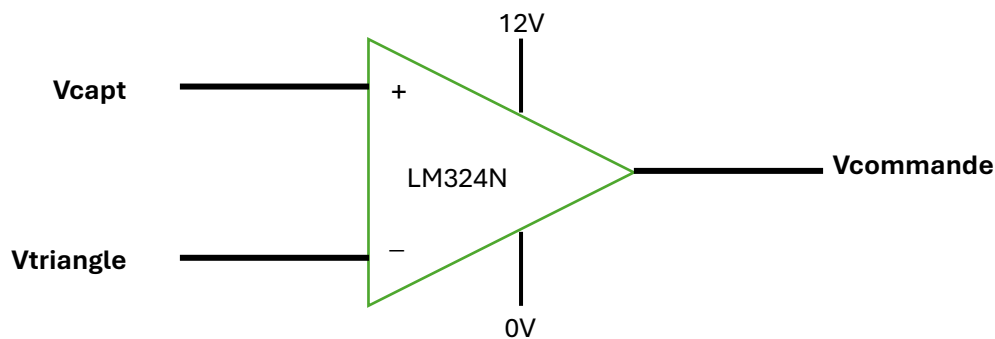
2.3.3. Comparer

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

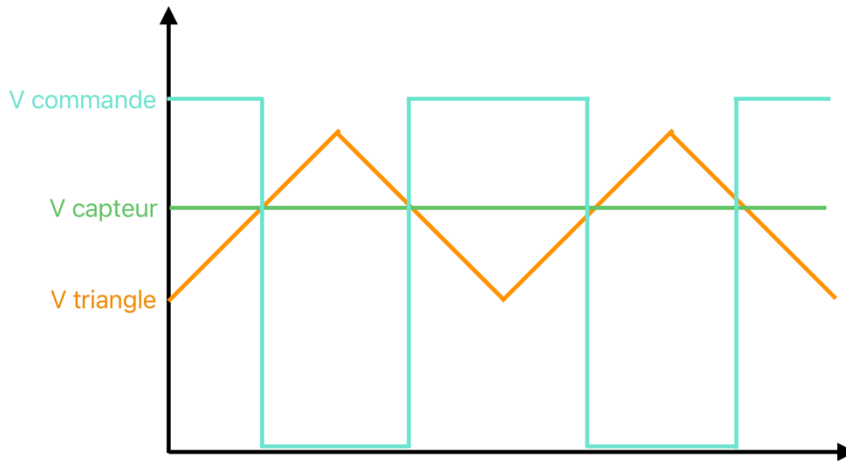
Pour faire varier la vitesse du moteur en fonction du capteur de ligne, on utilise une modulation par largeur d'impulsion (MLI). Le capteur de ligne fournit une tension qui dépend de la présence ou non de la ligne : 12V ou 0V (voir fonction *capter la ligne*).

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 génère 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 $V_{commande}$ de 12V quand $V_{capt} > V_{triangle}$ et 0V à l'inverse. Comme montrée sur l'oscillogramme d'exemple ci-dessous.

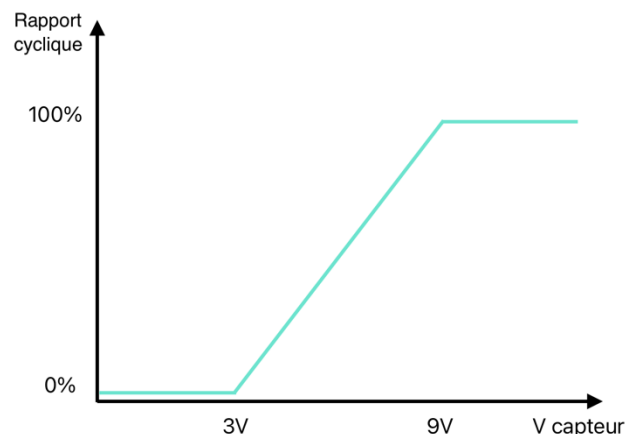


Le rapport cyclique de la tension $V_{commande}$ est donné par :

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

Quand $V_{capteur} = 12V$, $\alpha = 100\%$, le moteur tourne au maximum de sa vitesse.

Quand $V_{capteur} = 0V$, α tend vers 0%, le moteur ne tourne plus.

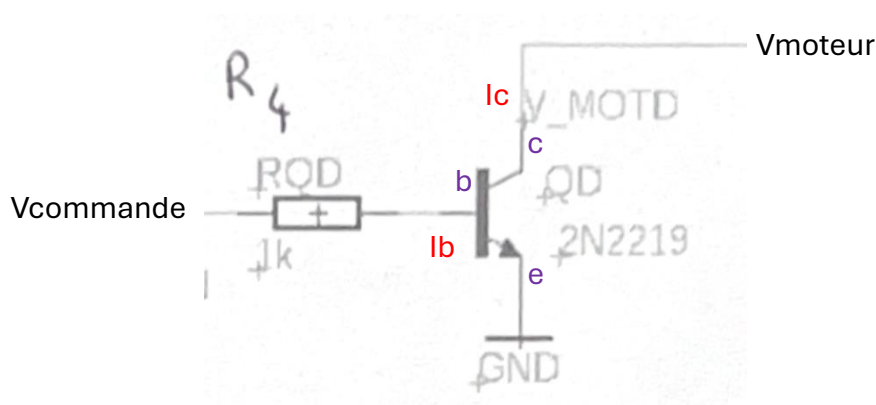


- De 0 à 3V, le rapport cyclique de $V_{commande}$ est de 0%, le moteur ne tourne pas.
- De 3 à 9V (plage dans laquelle $V_{triangle}$ évolue), le rapport cyclique de $V_{commande}$ est fonction de V_{capt} .
- De 9 à 12V, le rapport cyclique de $V_{commande}$ est de 100%, le moteur tourne au maximum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

2.3.4. *Interfacer la puissance et varier la vitesse*

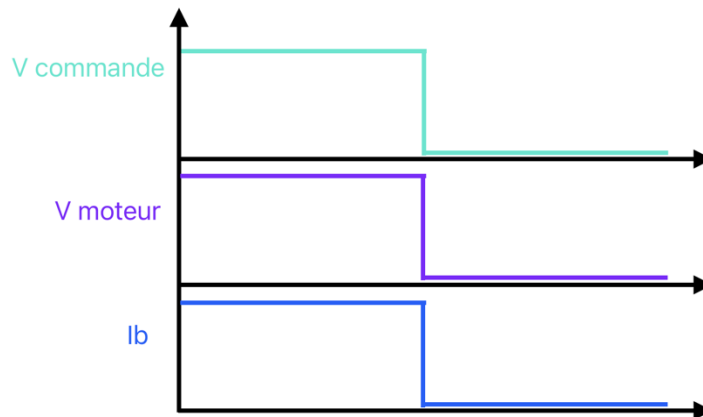
Pour interfacer la puissance, nous utilisons un transistor bipolaire **2N2219**(cf. documentation en Annexe 5), qui agit comme un interrupteur commandé par le signal MLI. En modulant son activation, il permet de faire varier la tension moyenne appliquée au moteur, et donc d'ajuster sa vitesse. Lorsque 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 β 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 Rb 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).

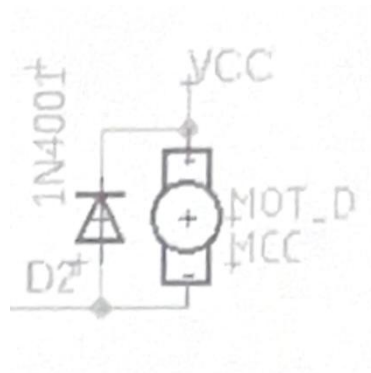
$$Rb = \frac{V_{RB}}{I_{b'}} = \frac{12 - 0,6}{10 \cdot 10^{-3}} = 1k\Omega$$

2.3.5. Moteurs

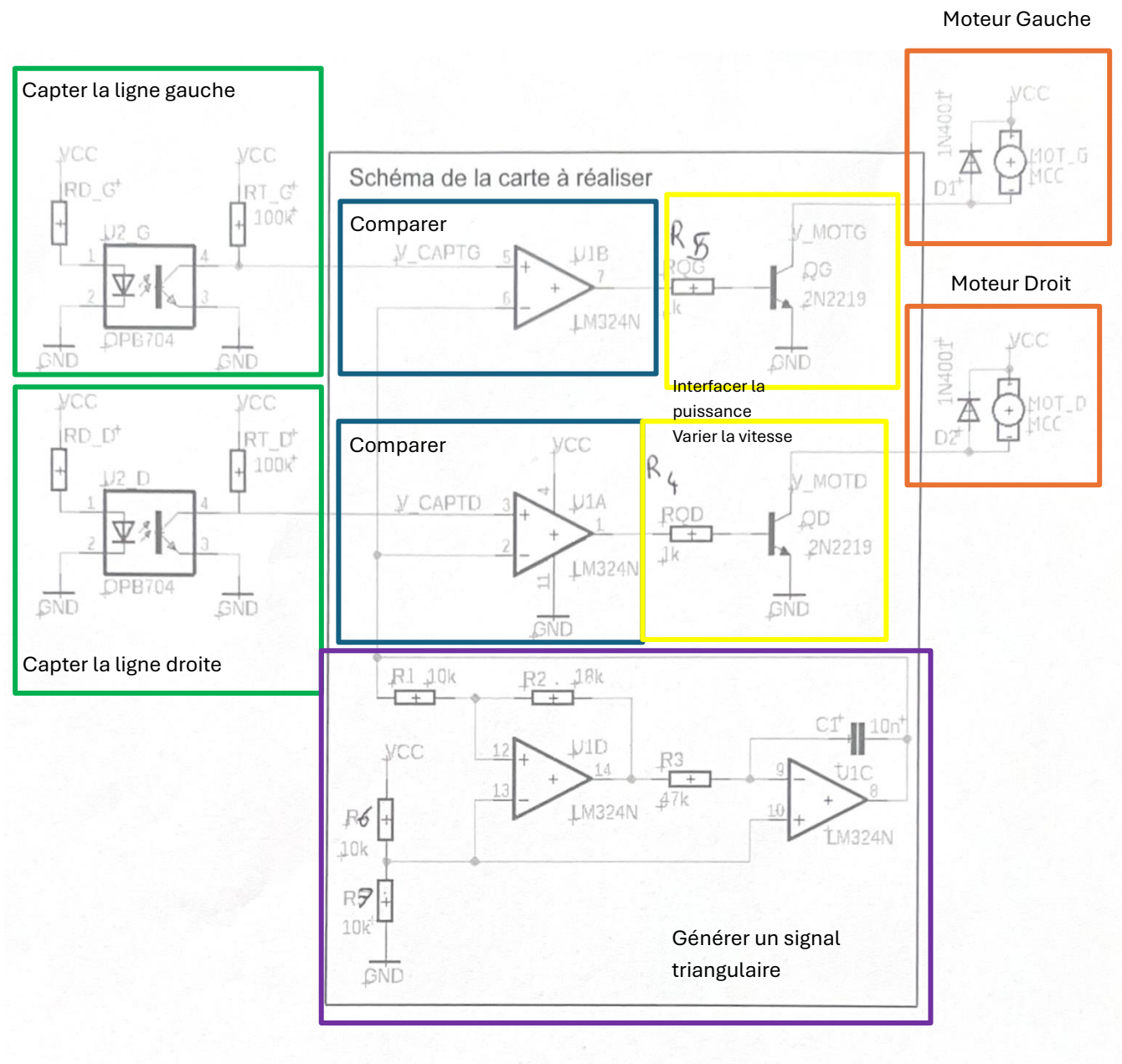
Les moteurs présents sur le robot sont des machines à courant continu de tension nominale 12V.

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.

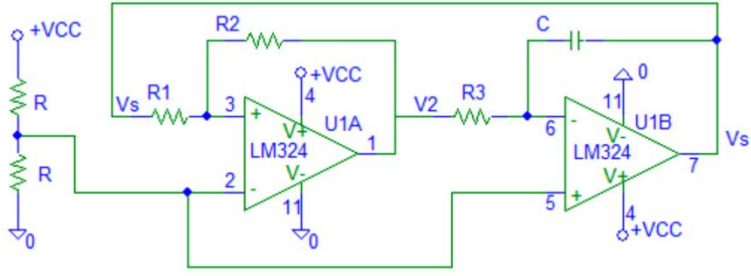
Schéma du montage :



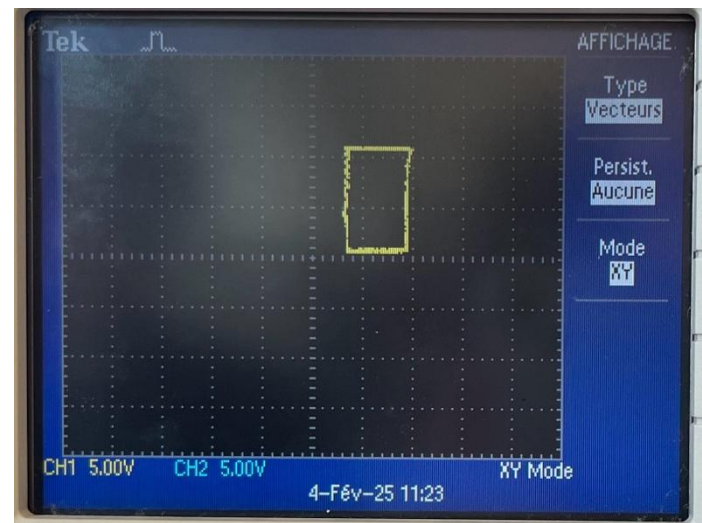
2.4. Schéma structurel global



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 |
| FICHE DE MESURES | | |
| 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 | | |
|  | | |
| <p>Procédure de test :</p> <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'hystérésis en mode XY avec T_{on} et T_{off}, nous relevons la fréquence F du signal triangulaire réalisé. On observe VSH et VSB (seuils de l'AOP) qui correspondent à VS_{min} et VS_{max}. On a $R = R1 = 10k\Omega$, $R2 = 18k\Omega$ et $R3 = 47k\Omega$</p> | | |

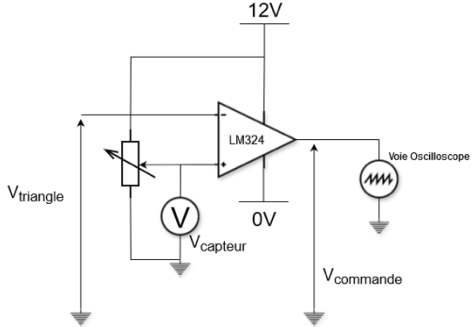
Résultats des mesures (oscillogrammes ou tableau de mesures ou caractéristiques) :



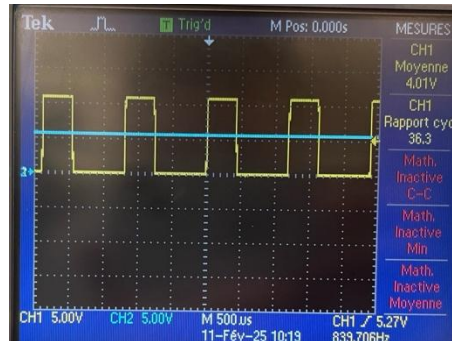
Voie 1 = V2 ; Voie 2 = VS

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 Eliott, PLEVENAGE Killian | |
| | Date: 11/02/2025 | |
| FICHE DE MESURES | | |
| 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 α du signal $V_{commande}$ en théorie et en pratique. | | |
| Schéma du banc de test : | | |
|  | | |
| Procédure de test : | | |
| Nous relevons à l'oscilloscope la sortie $V_{commande}$ du LM324N sur la voie 1 et la tension $V_{capteur}$ sur la voie 2. | | |
| Nous faisons varier la tension $V_{capteur}$ en la simulant avec un potentiomètre et relevons les oscillogrammes des signaux observés. | | |
| On vérifie que $\alpha = (V_{capteur} - V_{triangle\ min}) / (V_{triangle\ max} - V_{triangle\ min})$. Donc que α est fonction de $V_{capteur}$. | | |

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



Commentaires :

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

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

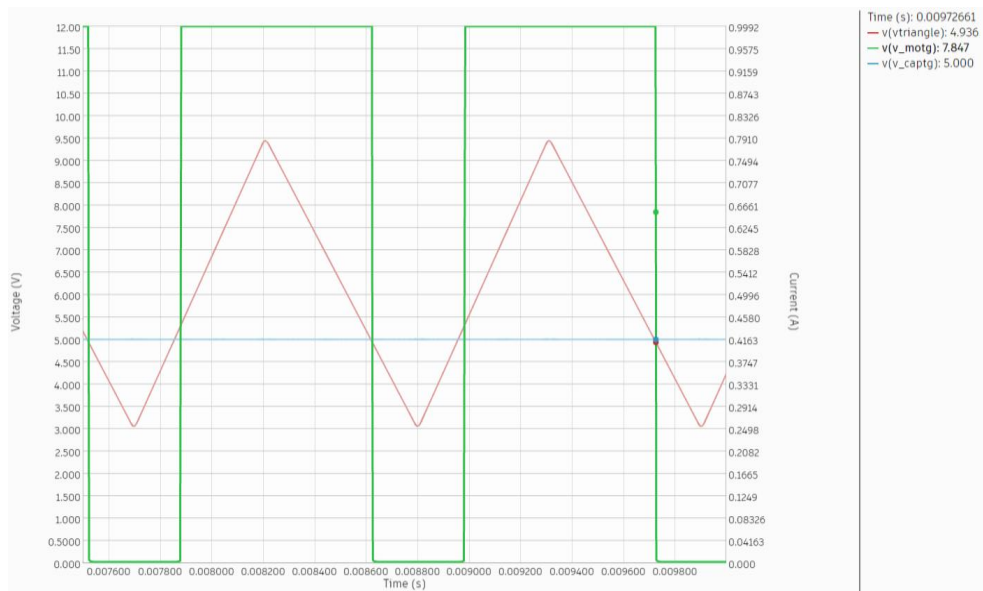
Pour $V_{\text{capt}} = 5,5V$: $\alpha_{\text{Th}} = (5,5 - 3) / (9 - 3) = 42\%$ → On observe à l'oscilloscope $\alpha = 36,3\%$, à a donc un écart de : 13,5%

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

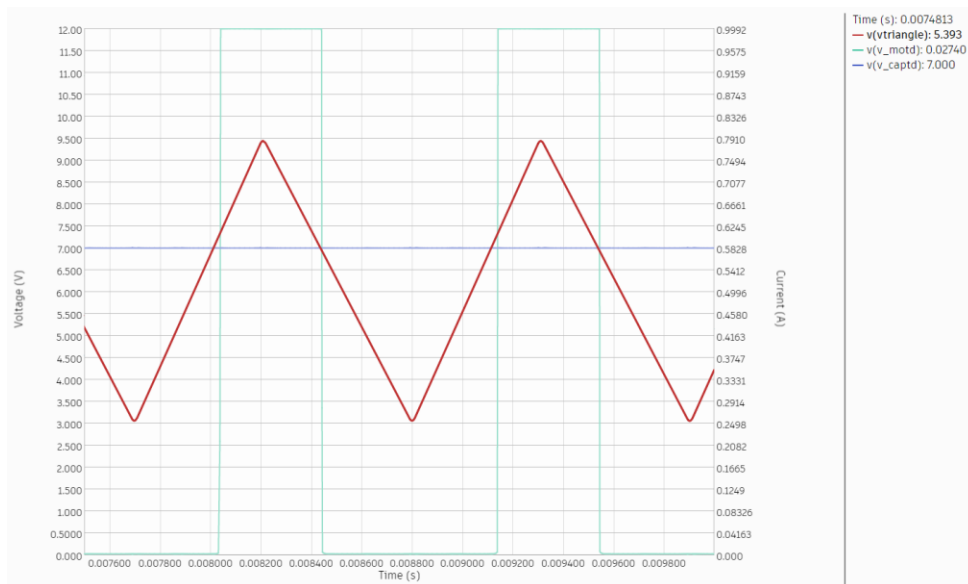
Conclusion : La tension V_{commande} est bien générée à partir du signal triangulaire et de la tension du capteur de ligne. La valeur de α varie bien linéairement dans la plage de tension du signal triangulaire.

Nous saisissons le schéma électrique du système et observons en simulation les signaux $V_{triangle}$, V_{moteur_gauche} , V_{moteur_droit} et choisissons $V_{capteur_gauche} = 5V$ et $V_{capteur_droit} = 7V$.

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 $V_{\text{moteur}} = 12\text{V} - V_{CE}$.

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

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

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.

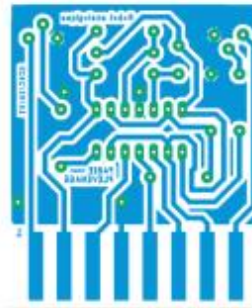
1.2 Analyse électrique

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

2 Soudage

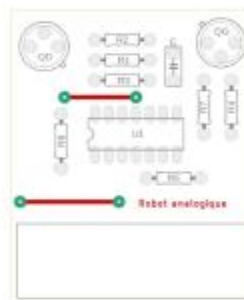
- Commencer par les composants de plus petite taille (straps et résistances notamment).
- Terminer par les composants plus volumineux (supports de circuit intégré, potentiomètres par exemple).

Typon du circuit imprimer à réaliser :



| | | |
|------------------------------|--|---------------------------|
| I.U.T. de Montpellier | Dépt G.E.I.I. 1^{ère} 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 ^{ère} 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 :

| Repère | Quantité | Référence - Désignation | Fabricant |
|--------|----------|-------------------------|-----------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| </ | | | |

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



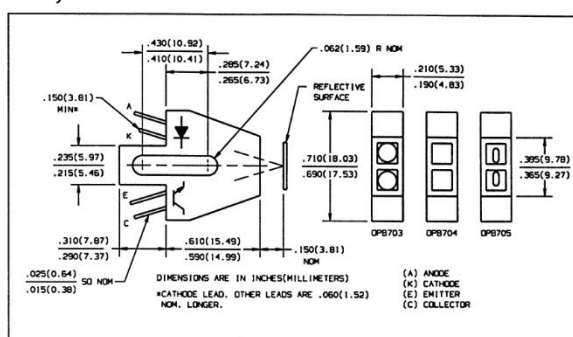
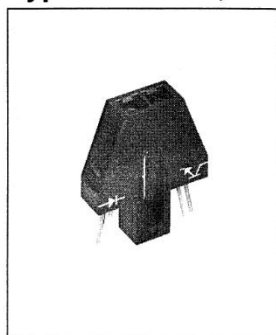
UE1.1/2 - UE2.1/2
SAE
Documentation technique



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

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

Input Diode

Forward DC Current 40 mA
Reverse DC Voltage 2.0 V
Power Dissipation 100 mW⁽²⁾

Output Phototransistor

Collector-Emitter Voltage 30 V
Emitter-Collector Voltage 5.0 V
Collector DC Current 25 mA
Power Dissipation 100 mW⁽²⁾

Notes:

- (1) RMA flux is recommended. Duration can be extended to 10 sec. max when flow soldering.
- (2) Derate linearly 1.67 mW/ $^\circ\text{C}$ above 25°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 -2σ 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 | No Lens |
| OPB704 | Blue Polysulfone Lens |
| OPB705 | Offset Lens |

Types OPB703, OPB704, OPB705

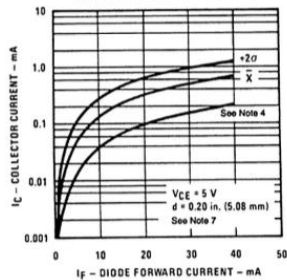
Electrical Characteristics ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

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

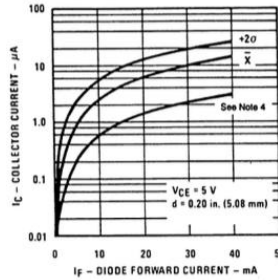
REFLECTIVE
OBJECT
SENSORS

Typical Performance Curves

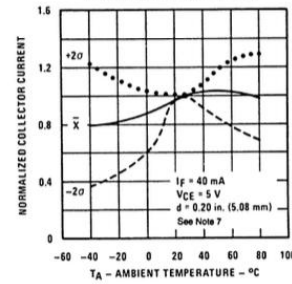
Reflective Surface Collector Current vs. Diode Forward Current



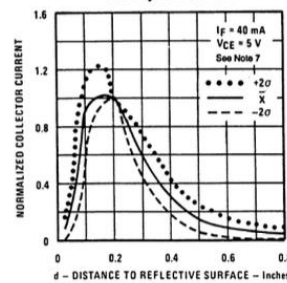
Diffused Surface Collector Current vs. Diode Forward Current



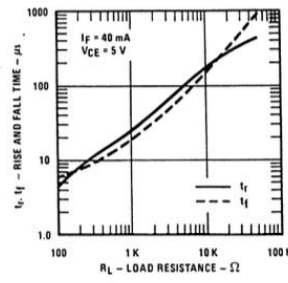
Normalized Collector Current vs. Ambient Temperature



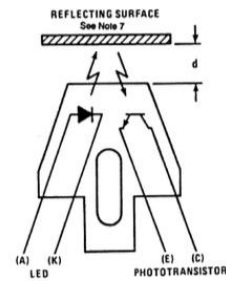
Normalized Collector Current vs. Object Distance



Rise and Fall Time vs. Load Resistance



Test Condition



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

11-15

5.2. Annexe 2 : LM324N



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



4. LM324

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_{DC} to 30 V_{DC} or dual supplies: ± 1.5 V_{DC} to ± 15 V_{DC}
- Very low supply current drain: essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V_{DC})
- Low input biasing current: 45 nA_{DC} (temperature-compensated)
- Low input offset voltage: 2 mV_{DC} and offset current: 5 nA_{DC}
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage: 0V_{DC} to V_{CC}-1.5 V_{DC} swing

PIN CONFIGURATION

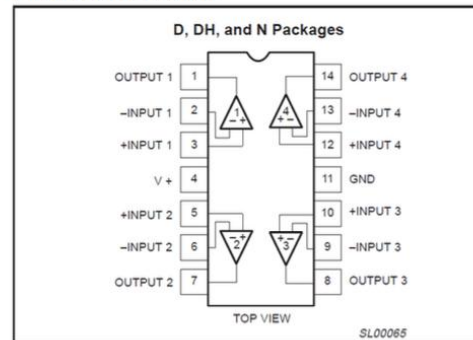


Figure 1. Pin configuration.

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 |

5.3. Annexe 3 : Calcul des seuils VsH, VsB

- Tension à la borne inverseuse du **LM324N** : $E^- = V_{cc}/2$

- Tension à la borne non inverseuse du **LM324N** : $E^+ = V_S \frac{R_2}{R_2+R_1} + V_2 \frac{R_1}{R_1+R_2}$

Nous savons que V_2 ne peut prendre que 2 valeurs : V_{cc} , $0V$;

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

$$V_{cc}/2 = V_S \frac{R_2}{R_2+R_1} + V_2 \frac{R_1}{R_1+R_2} \Leftrightarrow V_S \frac{R_2}{R_2+R_1} = V_{cc}/2 - V_2 \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

$$\Leftrightarrow V_S = \frac{R_2+R_1}{R_2} \left(V_{cc}/2 - V_2 \frac{R_1}{R_1+R_2} \right)$$

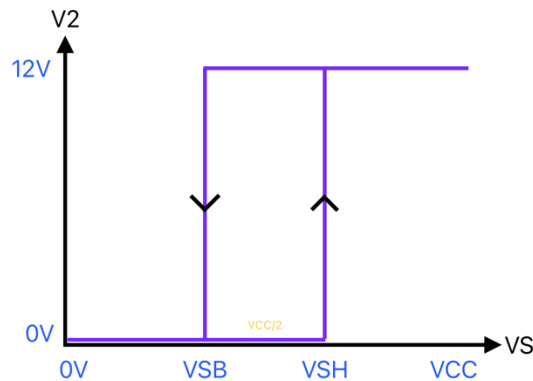
Lorsque $V_2 = 0$:

$$V_{SH} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) * V_{cc}/2 = V_{cc}/2 + \frac{R_1}{R_2} * V_{cc}/2$$

Lorsque $V_2 = V_{cc}$:

$$V_{SB} = V_{cc}/2 - \frac{R_1}{R_2} * V_{cc}/2$$

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 V_{SB} doit alors être à 3V et le seuils V_{SH} à 9V.

$$V_{SH} = V_{cc}/2 + \frac{R_1}{R_2} * V_{cc}/2 = 9V = 6V + \frac{R_1}{R_2} * 6V \Leftrightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2}$$

$$V_{SB} = V_{cc}/2 - \frac{R_1}{R_2} * V_{cc}/2 = 3V = 6V - \frac{R_1}{R_2} * 6V \Leftrightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2}$$

Nous avons alors choisi pour le système **$R_1 = 10k\Omega$ et $R_2 = 18 k\Omega$.**

5.4. Annexe 4 : Calcul de la résistance R3

Dans le trigger de Schmitt : $E^+ = E^- = V_{cc}/2$

V_{r3} (tension aux bornes de R3) = $V_2 - V_{cc}/2$

Le courant i du circuit est : $i_1 = \frac{V_{R3}}{R3} = \frac{V_2 - V_{cc}/2}{R3}$

V_c (tension aux bornes du condensateur) = $V_{cc}/2 - V_s$

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

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

On peut alors dire que : $i_1 = i_2$

$$\frac{V_2 - V_{cc}/2}{R3} = -C \cdot \frac{dV_s}{dt} \Leftrightarrow \frac{V_2 - V_{cc}/2}{R3} = -C \cdot \frac{\Delta V_s}{\Delta t}$$

V_s est un signal triangulaire oscillant entre 9 et 3V ; $\Delta V_s = 6V = V_{cc}/2$

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

On a donc :

$$\frac{V_2 - 6}{R3} = -C \cdot \frac{6}{T/2} \Leftrightarrow V_{cc} - 6 = \frac{R3 \cdot C \cdot 6}{T/2} \Leftrightarrow 6 \cdot T/2 = R3 \cdot C \cdot 6$$

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

$C = 10\text{nF}$; $F = 1\text{kHz}$

$T = 1/F = 1\text{ms}$; $T/2 = 0,5\text{ms}$

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

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

5.5. Annexe 5 : 2N2219

16. 2N2219A/22A



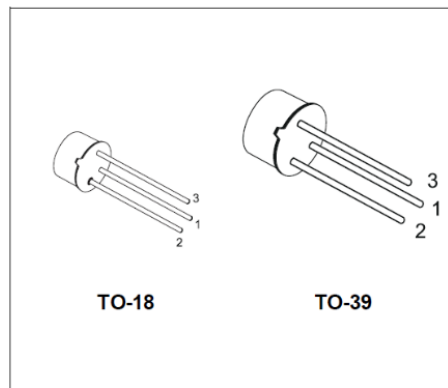
2N2219A
2N2222A

HIGH SPEED SWITCHES

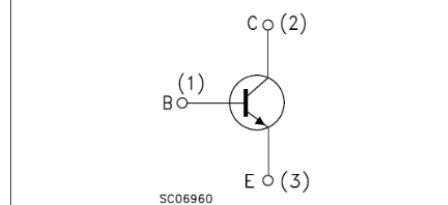
PRELIMINARY DATA

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 $T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$ | | |
| | for 2N2219A | 0.8 | W |
| | for 2N2222A | 0.5 | W |
| | at $T_C \leq 25^\circ\text{C}$ | | |
| | for 2N2219A | 3 | W |
| | for 2N2222A | 1.8 | W |
| T_{stg} | Storage Temperature | -65 to 175 | $^\circ\text{C}$ |
| T_j | Max. Operating Junction Temperature | 175 | $^\circ\text{C}$ |

2N2219A / 2N2222A

THERMAL DATA

| | | TO-39 | TO-18 | |
|-----------------------|-------------------------------------|-------|-------|------|
| R _{thj-case} | Thermal Resistance Junction-Case | 50 | 83.3 | °C/W |
| R _{thj-amb} | Thermal Resistance Junction-Ambient | 187.5 | 300 | °C/W |

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{case} = 25 °C unless otherwise specified)

| Symbol | Parameter | Test Conditions | Min. | Typ. | Max. | Unit |
|-----------------------|--|--|---|------|------------|----------|
| I _{CBO} | Collector Cut-off Current (I _E = 0) | V _{CB} = 60 V V _{CB} = 60 V T _J = 150 °C | | | 10 10 | nA μA |
| I _{CEX} | Collector Cut-off Current (V _{BE} = -3V) | V _{CE} = 60 V | | | 10 | nA |
| I _{BEX} | Base Cut-off Current (V _{BE} = -3V) | V _{CE} = 60 V | | | 20 | nA |
| I _{EBO} | Emitter Cut-off Current (I _C = 0) | V _{EB} = 3 V | | | 10 | nA |
| V _{(BR)CBO} | Collector-Base Breakdown Voltage (I _E = 0) | I _C = 10 μA | 75 | | | V |
| V _{(BR)CEO*} | Collector-Emitter Breakdown Voltage (I _B = 0) | I _C = 10 mA | 40 | | | V |
| V _{(BR)EBO} | Emitter-Base Breakdown Voltage (I _C = 0) | I _E = 10 μA | 6 | | | V |
| V _{CE(sat)*} | Collector-Emitter Saturation Voltage | I _C = 150 mA I _B = 15 mA I _C = 500 mA I _B = 50 mA | | | 0.3 1 | V V |
| V _{BE(sat)*} | Base-Emitter Saturation Voltage | I _C = 150 mA I _B = 15 mA I _C = 500 mA I _B = 50 mA | 0.6 | | 1.2 2 | V V |
| h _{FE*} | DC Current Gain | I _C = 0.1 mA V _{CE} = 10 V I _C = 1 mA V _{CE} = 10 V I _C = 10 mA V _{CE} = 10 V I _C = 150 mA V _{CE} = 10 V I _C = 500 mA V _{CE} = 10 V I _C = 150 mA V _{CE} = 1 V I _C = 10 mA V _{CE} = 10 V T _{amb} = -55 °C | 35 50 75 100 40 50 35 | | 300 | |
| h _{fe*} | Small Signal Current Gain | I _C = 1 mA V _{CE} = 10 V f = 1KHz I _C = 10 mA V _{CE} = 10 V f = 1KHz | 50 75 | | 300 375 | |
| f _T | Transition Frequency | I _C = 20 mA V _{CE} = 20 V f = 100 MHz | | 300 | | MHz |
| C _{EBO} | Emitter-Base Capacitance | I _C = 0 V _{EB} = 0.5 V f = 100KHz | | | 25 | pF |
| C _{CBO} | Collector-Base Capacitance | I _E = 0 V _{CB} = 10 V f = 100 KHz | | | 8 | pF |
| R _{e(hie)} | Real Part of Input Impedance | I _C = 20 mA V _{CE} = 20 V f = 300MHz | | | 60 | Ω |

* Pulsed: Pulse duration = 300 μs, duty cycle ≤ 1 %