

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : Electronique

Spécialité : Instrumentation Electronique

Par : FRID Amira
KHOUATIR Fatima

Sujet

Etude et réalisation d'un gradateur de vitesse pour train

Soutenu publiquement, le 02 / 07 / 2017, devant le jury composé de :

M. BELAID Ali	M.A.A	Univ. Tlemcen	Président
M. HAMDOUNE Abdelkader	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de mémoire
M. HACHIM Abdallah	M.A.A	Univ. Tlemcen	Examineur

Résumé

Le variateur de vitesse est composé essentiellement d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire agissant principalement sur le "lissage" de la tension de sortie du redresseur, d'un onduleur et d'un circuit de commande pilotant le redresseur, le circuit intermédiaire et l'onduleur. Il est principalement caractérisé selon la séquence de commutation qui commande la tension d'alimentation du moteur.

Dans notre projet de fin d'études ; nous avons réalisé un gradateur (ou variateur) de vitesse qui sert à commander la tension d'alimentation du moteur d'une manière continue, tout en résolvant le problème d'éclairage des voitures du train. En fait, ce montage permet de maintenir le même éclairage quelle que soit la vitesse du train même à l'arrêt total.

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous voudrions présenter nos remerciements à notre encadreur le professeur Monsieur HAMDOUNE Abdelkader. Nous lui témoignons notre gratitude pour sa patience, ses précieux conseils et son soutien tout le long de notre travail.

Nous tenons également à remercier les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de siéger à notre soutenance : Monsieur BELAID Ali et Monsieur HACHIM Abdallah.

Nos remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier tous nos collègues d'études, particulièrement notre promotion « master instrumentation électronique 2016 /2017 ».

Merci à vous tous !

Dédicace

Chaleureusement je dédie ce travail :

A Mes chers parents en témoignage pour leur amour et leur sacrifice sans limite à qui je souhaite la bonne santé et que DIEU me les garde.

- A Mon frère.
- A ma famille.
- A Tous mes amis sans exception.

A toute la promo de MASTER 2 INSTRUMENTATION ELECTRONIQUE (2016/2017).

Aussi à tous les étudiants de l'Université de Tlemcen.

Amira

Dédicace

Je dédie ce modeste travail avant tout à :

- A ma très chère mère pour toute son assistance et sa présence dans ma vie ; je lui dirais : reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.
- A mon très cher père qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent que tu m'as offerts.
- A ma très chère sœur et mes très chers frères.

Mes dédicaces vont également :

- Aux ingénieurs du laboratoire de maintenance de l'entreprise nationale industrie électronique de Sidi Bel Abbes (ENIE).
- A mes amies et mes collègues d'études.
- A ma famille et toutes les personnes que j'aime.
- A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Fatima

Liste des figures

Figure 1.1 : Simple variateur de vitesse.

Figure 1.2 : Variateur de vitesse pour moteur électrique.

Figure 2.1 : Schéma synoptique du montage.

Figure 2.2 : Circuit de l'alimentation stabilisée.

Figure 2.3 : Schéma d'un transformateur.

Figure 2.4 : Redressement simple alternance avec transformateur.

Figure 2.5 : Photos de transformateurs de différentes puissances.

Figure 2.6 : Schéma d'un redresseur.

Figure 2.7 : (a)- Redresseur en pont, (b)- Circuit équivalent pour alternance positive, (c)- Circuit équivalent pour alternance négative, (d)- Signal de sortie.

Figure 2.8 : Pont de redressement.

Figure 2.9 : Un pont de Greutz.

Figure 2.10 : Représentation d'une diode de redressement.

Figure 2.11 : Tensions avant ($v(t)$), et après le pont de diodes ($v_s(t)$).

Figure 2.12 : Schéma d'un filtre.

Figure 2.13 : Tension après filtrage.

Figure 2.14 : Circuit de filtrage.

Figure 2.15 : Circuit de stabilisation (diode Zener).

Figure 2.16 : Exemple d'un amplificateur à transistor monté en collecteur commun.

Figure 2.17 : Amplificateur Darlington.

Figure 2.18 : Schéma interne du C/MOS 4001.

Tableau 2.19 : Description des pins du C/MOS 4001.

Tableau 2.20 : Conditions de fonctionnement recommandées du C/MOS 4001.

Figure 2.21 : Circuit d'oscillateur astable et Trigger de Schmitt.

Figure 2.22 : Circuit de Trigger de Schmitt.

Figure 2.23 : Représentation de la bascule de Schmitt.

Figure 2.24 : Chronogramme du Trigger de Schmitt.

Figure 2.25 : Circuit dérivateur.

Figure 2.26 : Circuit d'oscillateur monostable.

Figure 2.27 : Représentation du chronogramme d'un monostable.

Figure 2.28 : Chronogramme d'un monostable de type non redéclenchable.

Figure 2.29 : Chronogramme d'un monostable de type redéclenchable.

Figure 2.30 : Monostable à portes NOR.

Figure 2.31 : Oscillogramme du signal de sortie du monostable.

Liste des figures

Figure 3.1 : Circuit électrique du gradateur de vitesse.

Figure 3.2 : Signal de l'astable (Pin10 du IC1).

Figure 3.3 : Signal du trigger de Schmitt (Pin3 du IC1).

Figure 3.4 : Signal dérivé à la cathode de D2.

Figure 3.5 : Signal du monostable (Pin10 du IC2).

Figure 3.6 : Signal vers le réseau quand $T1 = T2$.

Figure 3.7 : Signal vers le réseau quand $T1 < T2$.

Figure 3.8 : Signal vers le réseau quand $T1 > T2$.

Figure 3.9 : Signal du monostable à résistance P maximale (Pin10 du IC2).

Figure 3.10 : Circuit imprimé, côté cuivre.

Figure 3.11 : Vue 3D du circuit imprimé avec composants.

Figure 3.12 : Photo de la maquette.

Introduction	1
---------------------------	----------

Chapitre 1 : Généralités

1.1 Définitions	2
1.2 Fonctionnement global	2
1.2.1 Régulation.....	3
1.2.2 Inversion du sens de marche.....	3
1.3 Historique.....	4
1.4 Principaux types de variateurs.....	4
1.4.1 Redresseur contrôlé pour moteur à courant continu.....	5
1.4.2 Convertisseur de fréquence pour moteur asynchrone.....	5
1.4.3 Gradateur de tension pour le démarrage des moteurs asynchrones.....	5
1.5 Structure des variateurs de vitesses.....	6
1.5.1 Module de contrôle.....	6
1.5.2 Module de puissance.....	6
1.6 Modes de fonctionnement possibles.....	7
1.6.1 Fonctionnement dit à « couple constant »	7
1.6.2 Fonctionnement dit à « puissance constante ».....	7
1.7 Avantages et inconvénients d'un variateur de vitesse.....	7
1.7.1 Avantages d'un variateur de vitesse correctement utilisé.....	7
1.7.2 Inconvénients des variateurs de vitesse pour le réseau électrique.....	8

Chapitre 2 : Etude théorique des différents étages

2.1 Schéma synoptique du montage.....	10
2.2 Etude théorique des différents étages	10
2.2.1 Alimentation stabilisée.....	10
2.2.1.1 Transformateur.	10
2.2.1.2 Redressement de tension alternative	12
2.2.1.3 Circuit de filtrage.....	15
2.2.2 Stabilisation de tension continue	16
2.2.2.1 Diode Zener (DZ).....	16
2.2.2.2 Amplificateur de courant (Darlington).....	16

2.2.2.3 Circuit intégré CD 4001.....	19
2.2.3 Oscillateur astable.....	20
2.2.4 Trigger de Schmitt	22
2.2.5 Circuit dérivateur.....	23
2.2.6 Oscillateur monostable.....	24
2.2.7 Transistors en commutation.....	28
2.2.7.1 Commutateur parfait.....	29
2.2.7.2 Transistors NPN	29
2.2.7.3 Transistors PNP.....	29

Réalisation pratique

Introduction.....	30
3.1 Circuit électrique complet du montage	30
3.2 Fonctionnement détaillé du montage.....	30
3.2.1 Alimentation.....	30
3.2.2 Base de temps.....	31
3.2.3 Circuit de commande de la graduation.....	33
3.2.4 Commande des alternances.....	33
3.2.5 Circuit de puissance.....	34
3.2.6 Protection des transistors de puissance.....	35
3.2.7 Mise au point du montage.....	36
Liste des composants.....	39
Conclusion.....	40
ANNEXE.....	41
Bibliographie.....	42

Introduction

Depuis longtemps, un problème se posait dans un train ; l'éclairage des voitures remorquées augmente et diminue par rapport à la vitesse du train et pourrait même disparaître quand le train est en arrêt. Notre sujet s'inscrit dans cette problématique en essayant d'apporter un plus au modélisme ferroviaire ; il s'agit d'un circuit qui résoudrait ce problème en permettant de maintenir le même éclairage dans les voitures d'un train quelle que soit sa vitesse.

Notre mémoire est divisé en trois chapitres.

- Dans le premier chapitre, nous donnons des généralités sur le modélisme ferroviaire auquel est inscrit notre projet.
- Dans le deuxième chapitre, nous donnons le schéma synoptique, le fonctionnement global d'un gradateur de vitesse et l'étude théorique des différents étages.
- Le troisième chapitre est consacré à la réalisation pratique du montage. Nous présentons d'abord le circuit électrique du montage ; puis nous le dessinons sur ISIS et ARES. Nous réalisons alors la maquette et nous faisons les mesures pratiques, avec interprétation.

Nous finissons notre mémoire par une conclusion et des perspectives.

CHAPITRE 1

Généralités

Chapitre 1 : Généralités

1.1 Définitions

Le modélisme ferroviaire est une activité de modélisme concernant les trains et le monde ferroviaire et tout spécifiquement leur reproduction suivant une échelle et un thème définis, mais aussi leur exploitation [1].

Un gradateur de vitesse est un appareil qui est alimenté sous une tension sinusoïdale de valeur efficace constante, et qui permet de maintenir le même éclairage dans les voitures remorquées quelque soit la vitesse du train.

1.2 Fonctionnement global

Le premier variateur de vitesse pour moteur à courant continu s'appelle groupe Ward Leonard. Ce groupe, constitué d'un moteur d'entraînement généralement asynchrone, et d'une génératrice à courant continu à excitation variable, alimente un ou des moteurs à courant continu. L'excitation est réglée par un dispositif électromécanique ou par un système statique (amplificateur magnétique ou régulateur électronique). Ce dispositif est aujourd'hui totalement abandonné au profit des variateurs de vitesse à semi-conducteurs qui réalisent de manière statique les mêmes opérations avec des performances supérieures. Les variateurs de vitesse électroniques sont alimentés sous une tension fixe à partir du réseau alternatif et fournissent au moteur une tension continue variable. Un pont de diodes ou un pont à thyristors, en général monophasé, permet l'alimentation du circuit d'excitation ; et le circuit de puissance est un redresseur. La tension à délivrer devant être variable, ce redresseur doit être du type contrôlé, c'est-à-dire comporter des composants de puissance dont la conduction peut être commandée (thyristors). La variation de la tension de sortie est obtenue en limitant plus ou moins le temps de conduction pendant chaque demi-période. Plus l'amorçage du thyristor est retardé par rapport au zéro de la demi-période, plus la valeur moyenne de la tension est réduite et, de ce fait, la vitesse du moteur plus faible (rappelons que l'extinction d'un thyristor intervient automatiquement quand le courant passe par zéro). Pour des variateurs de faible puissance, ou des variateurs alimentés par une batterie d'accumulateurs ; le circuit de puissance, parfois constitué de transistors de puissance (hacheur), fait varier la tension continue de sortie en ajustant le temps de conduction. Ce mode de fonctionnement est dénommé MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion).

1.2.1 Régulation

La régulation consiste à maintenir avec précision la vitesse à la valeur imposée en dépit des perturbations (variation du couple résistant, de la tension d'alimentation, de la température). Toutefois, lors des accélérations ou en cas de surcharge, l'intensité du courant ne doit pas atteindre une valeur dangereuse pour le moteur ou le dispositif d'alimentation. Une boucle de régulation interne au variateur maintient le courant à une valeur acceptable. Cette limite est accessible pour permettre l'ajustement en fonction des caractéristiques du moteur. La vitesse de consigne est fixée par un signal analogique ou numérique transmis par l'intermédiaire d'un dispositif qui délivre une tension image de cette vitesse désirée. La référence peut être fixe ou varier au cours du cycle. Des rampes d'accélération et de décélération réglables appliquent de façon progressive la tension de référence correspondant à la vitesse désirée, l'évolution de cette rampe peut suivre toutes les formes désirées. Le réglage des rampes définit la durée de l'accélération et du ralentissement. En boucle fermée, la vitesse réelle est mesurée en permanence par une dynamo tachymétrique ou un générateur d'impulsions et comparée à la référence. Si un écart est constaté, l'électronique de contrôle réalise une correction de la vitesse. La gamme de vitesse s'étend de quelques tours par minute jusqu'à la vitesse maximale. Dans cette plage de variation, on obtient aisément des précisions meilleures que 1 % en régulation analogique et mieux que 1/1000 en régulation numérique, en cumulant toutes les variations possibles (vide/charge, variation de tension, de température, etc.) Cette régulation peut également être effectuée à partir de la mesure de la tension du moteur en tenant compte du courant qui le traverse. Les performances sont dans ce cas sensiblement inférieures, à la fois en gamme de vitesse et en précision (quelques % entre marche à vide et marche en charge).

1.2.2 Inversion du sens de marche

Pour inverser le sens de marche, il faut inverser la tension d'induit. Ce peut être réalisé à l'aide de contacteurs (cette solution est maintenant obsolète) ou en statique par inversion de la polarité de sortie du variateur de vitesse ou de la polarité du courant d'excitation [2].

1.3 Historique

Pour démarrer les moteurs électriques et contrôler leur vitesse, les démarreurs rhéostatiques, les variateurs mécaniques et les groupes tournants (Ward Leonard en particulier) ont été les premières solutions ; puis les démarreurs et variateurs électroniques se sont imposés dans l'industrie comme la solution moderne, économique, fiable et sans entretien. Un variateur ou un démarreur électronique est un convertisseur d'énergie dont le rôle consiste à moduler l'énergie électrique fournie au moteur. Les démarreurs électroniques sont exclusivement destinés aux moteurs asynchrones. Ils font partie de la famille des gradateurs de tension. Les variateurs de vitesse assurent une mise en vitesse et une décélération progressive, ils permettent une adaptation précise de la vitesse aux conditions d'exploitation. Les variateurs de vitesse sont du type redresseur contrôlé pour alimenter les moteurs à courant continu, ceux destinés aux moteurs à courant alternatif sont des convertisseurs de fréquence.

Historiquement, le variateur pour moteur à courant continu a été la première solution offerte. Les progrès de l'électronique de puissance et de la microélectronique ont permis la réalisation de convertisseurs de fréquence fiables et économiques. Les convertisseurs de fréquence modernes permettent l'alimentation de moteurs asynchrones standards avec des performances analogues aux meilleurs variateurs de vitesse à courant continu. Certains constructeurs proposent même des moteurs asynchrones avec des variateurs de vitesse électroniques incorporés dans une boîte à bornes adaptée ; cette solution est proposée pour des ensembles de puissance réduite (quelques kW). Les évolutions récentes des variateurs de vitesse élargissent notablement l'offre et les possibilités des variateurs [2].

Daniel Clenet a développé des variateurs de vitesse pour moteur à courant continu destinés au marché des machines-outils, des variateurs dédiés aux chariots de manutention ainsi qu'une partie des premiers variateurs de vitesse pour moteurs asynchrones. Son expérience des applications découle des contacts avec les clients utilisateurs et d'une activité de chef de projet dans le Département des Applications Industrielles de Schneider Electric. On lui doit le lancement du variateur Altivar aux USA dans les années 86 à 90 [2].

1.4 Principaux types de variateurs

Seuls les variateurs les plus courants et les réalisations technologiques usuelles sont cités dans ce chapitre. Il existe de nombreux schémas de variateurs de vitesse électronique : cascade hypo-synchrone, cyclo-convertisseurs, commutateurs de courant, hacheurs...

1.4.1 Redresseur contrôlé pour moteur à courant continu

Il fournit, à partir d'un réseau alternatif monophasé ou triphasé, un courant continu avec un contrôle de la valeur moyenne de la tension. Les semi-conducteurs de puissance sont assemblés en pont de Graëtz, monophasé ou triphasé. Le pont peut être mixte (diodes / thyristors) ou complet (tout thyristor). Cette dernière solution est la plus fréquente car elle permet un meilleur facteur de forme du courant délivré. Le moteur à courant continu est le plus souvent à excitation séparée, sauf dans les petites puissances où les moteurs à aimants permanents sont assez fréquents. L'utilisation de ce type de variateur de vitesse est bien adaptée pour toute application. Les seules limites sont imposées par le moteur à courant continu, en particulier la difficulté d'obtention de vitesses élevées et la nécessité de maintenance. Les moteurs à courant continu et leurs variateurs associés ont été les premières solutions industrielles. Depuis plus d'une décennie, leur usage est en constante diminution au profit des convertisseurs de fréquence. En effet, le moteur asynchrone est à la fois plus robuste et plus économique qu'un moteur à courant continu. Contrairement aux moteurs à courant continu, standardisés en enveloppe IP55, il est aussi pratiquement insensible à l'environnement (ruissellement, poussières, ambiances dangereuses...).

1.4.2 Convertisseur de fréquence pour moteur asynchrone

Il fournit, à partir d'un réseau alternatif à fréquence fixe, une tension alternative triphasée de valeur efficace et de fréquence variables. L'alimentation du variateur pourra être monophasée pour les faibles puissances (ordre de grandeur de quelques kW) et triphasée au-delà. Certains variateurs de petite puissance acceptent indifféremment des tensions d'alimentation mono et triphasées. La tension de sortie du variateur est toujours triphasée. De fait, les moteurs asynchrones monophasés sont mal adaptés à l'alimentation par convertisseur de fréquence. Les convertisseurs de fréquence étant auto-ventilés, leur seule limite d'emploi est leur utilisation prolongée à basse vitesse en raison de la réduction de cette ventilation. Si un tel fonctionnement est souhaité, il faut prévoir un moteur spécial équipé d'une ventilation forcée indépendante.

1.4.3 Gradateur de tension pour le démarrage des moteurs asynchrones

Il fournit, à partir d'un réseau alternatif, un courant alternatif de fréquence fixe égale à celle du réseau avec un contrôle de la valeur efficace de la tension par modification de l'angle de retard à l'amorçage des semi-conducteurs de puissance, deux thyristors montés tête-bêche dans chaque phase du moteur [2].

1.5 Structure des variateurs de vitesses

Les démarreurs et les variateurs de vitesse électroniques sont composés de deux modules généralement regroupés dans une même enveloppe : un module de contrôle qui gère le fonctionnement de l'appareil, et un module de puissance qui alimente le moteur en énergie électrique.

1.5.1 Module de contrôle

Sur les démarreurs et les variateurs modernes ; toutes les fonctions sont commandées par un microprocesseur qui exploite les réglages, les ordres transmis par un opérateur ou par une unité de traitement, et les résultats de mesure comme la vitesse, le courant, etc. Les capacités de calcul des microprocesseurs ainsi que des circuits dédiés (ASIC) ont permis de réaliser des algorithmes de commande extrêmement performants et, en particulier, la reconnaissance des paramètres de la machine entraînée. A partir de ces informations, le microprocesseur gère les rampes d'accélération et de décélération, l'asservissement de vitesse, la limitation de courant, et génère la commande des composants de puissance. Les protections et les sécurités sont traitées par des circuits spécialisés (ASIC) ou intégrés dans les modules de puissance (IPM). Les réglages (limites de vitesse, rampes, limitation de courant...) se font soit par claviers intégrés, soit à partir d'automates par des bus de terrain ou de PC pour charger des réglages standard. De même, les différents ordres (marche, arrêt, freinage...) peuvent être donnés à partir d'interfaces de dialogue homme / machine, par des automates programmables ou par des PC. Les paramètres de fonctionnement et les informations d'alarme et de défauts peuvent être visualisés par des voyants, des diodes électroluminescentes, des afficheurs à segments ou à cristaux liquides, ou déportés vers des superviseurs par des bus de terrains. Des relais, souvent programmables, donnent des informations de défauts (réseau, thermique, produit, séquence, surcharge...), de surveillance (seuil de vitesse, pré-alarme, fin de démarrage). Les tensions nécessaires pour l'ensemble des circuits de mesure et de contrôle sont fournies par une alimentation intégrée au variateur et séparée galvaniquement du réseau.

1.5.2 Module de puissance

Le module de puissance est principalement constitué de composants de puissance (diodes, thyristors, IGBT...), d'interfaces de mesure des tensions et/ou des courants, et fréquemment d'un ensemble de ventilation [2].

1.6 Modes de fonctionnement possibles

1.6.1 Fonctionnement dit à « couple constant »

À excitation constante, la vitesse du moteur est fonction de la tension appliquée à l'induit du moteur. La variation de vitesse est possible depuis l'arrêt jusqu'à la tension nominale du moteur qui est choisie en fonction de la tension alternative d'alimentation. Le couple moteur est proportionnel au courant d'induit et le couple nominal de la machine peut être obtenu de manière continue à toutes les vitesses.

1.6.2 Fonctionnement dit à « puissance constante »

Lorsque la machine est alimentée sous sa tension nominale, il est encore possible d'augmenter sa vitesse en réduisant le courant d'excitation. Le variateur de vitesse doit dans ce cas comporter un pont redresseur contrôlé, alimentant le circuit d'excitation. La tension d'induit reste alors fixe et égale à la tension nominale et le courant d'excitation est ajusté pour obtenir la vitesse souhaitée. La puissance a pour expression $P = E \times I$ avec E sa tension d'alimentation, I le courant d'induit. La puissance, pour un courant d'induit donné, est donc constante sur toute la gamme de vitesse, mais la vitesse maximale est limitée par deux paramètres : la limite mécanique liée à l'induit et en particulier la force centrifuge maximale pouvant être supportée par le collecteur, et les possibilités de commutation de la machine, en général plus restrictives. Le fabricant du moteur doit donc être sollicité pour bien choisir un moteur, en particulier en fonction de la gamme de vitesse à puissance constante [2].

1.7 Avantages et inconvénients d'un variateur de vitesse

1.7.1 Avantages d'un variateur de vitesse correctement utilisé

Le recours aux variateurs de vitesse offre plusieurs avantages :

- Démarrage progressif des moteurs réduisant les chutes de tension dans le réseau et limitant les courants de démarrage.
- Amélioration du facteur de puissance.
- Précision accrue de la régulation de vitesse.
- Prolongement de la durée de service du matériel entraîné.
- Diminution de la consommation d'électricité.

De nouveaux variateurs de vitesse plus performants peuvent éviter l'interruption des procédés en cas de perturbation du réseau de courte durée [3].

1.7.2 Inconvénients des variateurs de vitesse pour le réseau électrique

Tous les variateurs de vitesse intégrant des dispositifs de commutation (diodes, thyristors, IGBT, etc.) forment une charge non linéaire qui engendre des courants harmoniques, sources de distorsion de l'onde (chute ou perturbation de la tension) dans le réseau électrique. Cette dégradation de l'onde peut perturber les équipements électriques du réseau électrique si aucune mesure d'immunité n'est prise. Par ailleurs, des résonances harmoniques peuvent également apparaître entre les variateurs de vitesse et les batteries de condensateurs. Les effets néfastes peuvent se manifester par la défaillance prématurée des équipements électriques (surchauffe des moteurs, des câbles et des transformateurs), par la dégradation de l'isolation des moteurs commandés ou par l'interruption des procédés (fusibles brûlés) [4].

En résumé

On trouve les variateurs de vitesses dans les trains, les avions, les voitures[4].

De nos jours, du fait de l'utilisation croissante des variateurs de vitesse dans les procédés industriels, il est préférable de protéger les installations existantes contre les perturbations électriques. Les moyens pour assurer l'immunité sont plus accessibles et plus performants. Lors de l'acquisition de nouveaux variateurs de vitesse, il est fortement recommandé de les immuniser suffisamment pour maintenir le bon fonctionnement des équipements en cas de perturbations électriques.

Exemples de variateurs de vitesse :

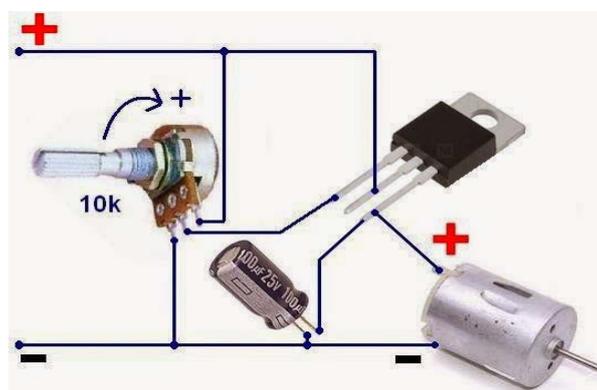


Figure 1.1 : Simple variateur de vitesse [5].



Figure 1.2 : Variateur de vitesse pour moteur électrique [6].

CHAPITRE 2

Etude théorique des différents étages

Chapitre 2 : Etude théorique des différents étages

2.1 Schéma synoptique du montage

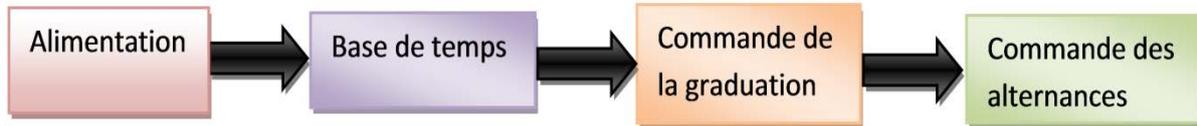


Figure 2.1 : Schéma synoptique du montage.

2.2 Etude théorique des différents étages

2.2.1 Alimentation stabilisée

Une alimentation stabilisée est un circuit plus ou moins élaboré qui transforme la tension alternative du réseau électrique en une tension continue, dans le but d'alimenter un circuit électronique fonctionnant à courant continu. Celle utilisée dans notre circuit est donnée par la figure 2.2 ; elle contient plusieurs blocs qui sont traités dans l'ordre, dans ce qui suit.

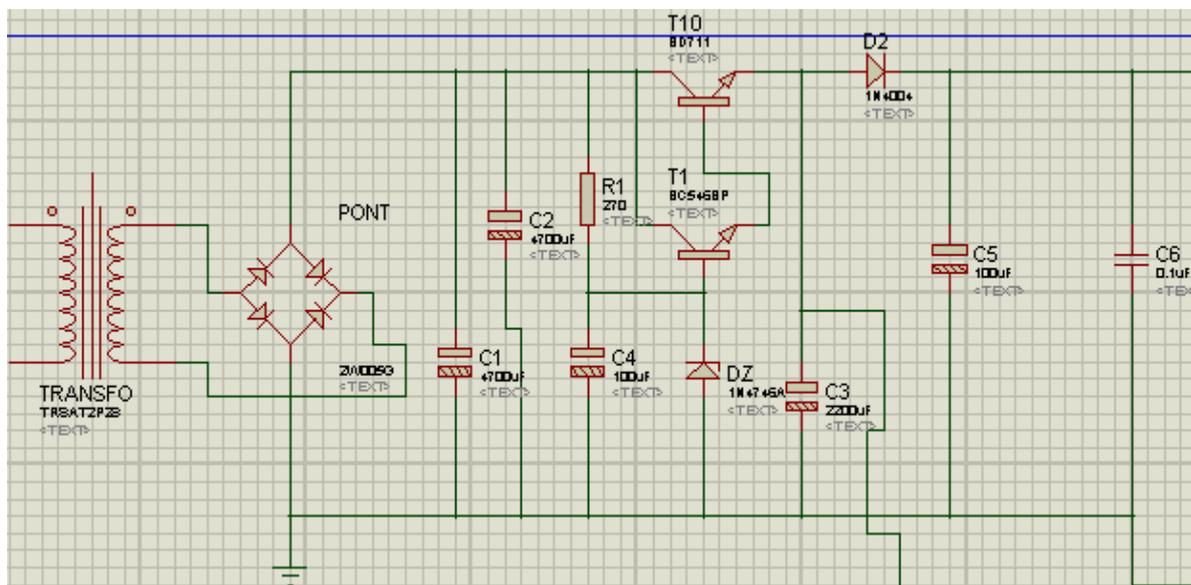


Figure 2.2 : Circuit de l'alimentation stabilisée.

2.2.1.1 Transformateur

Pour toute alimentation stabilisée, le premier élément est un transformateur ; il peut être élévateur ou abaisseur de tension. Celui utilisé dans notre montage est un abaisseur de tension ; il possède une puissance au primaire de 15 à 20 VA et délivre une tension de sortie

de 18 V qui est une tension alternative (18 V représente la valeur efficace de la tension de sortie aux bornes de l'enroulement secondaire).

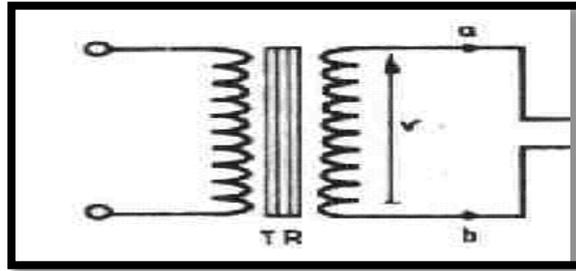


Figure 2.3 : Schéma d'un transformateur [7].

Un transformateur est couramment utilisé dans l'alimentation pour amener la valeur de la tension du secteur à des niveaux plus bas supportables par les diodes, transistors et autres composants électroniques.

C'est un appareil statique à induction qui remplit deux fonctions :

- Isolement galvanique entre l'équipement et le secteur ;
- Transformation de la tension alternative du réseau, déterminée par le rapport entre le nombre de spires (tours) du secondaire et du primaire.

Points de déphasage :

Les côtés pointes ont la même phase instantanée. Quand une alternance positive arrive sur le primaire, une alternance positive sort du secondaire. Si le point de repérage était situé dans l'enroulement, la tension secondaire serait déphasée de 180° par rapport à la tension du primaire. Pour l'alternance positive de la tension primaire, la demi sinusoïde positive du secondaire polarise la diode en direct. Pour l'alternance négative, la diode est polarisée en inverse ; et l'on obtient une tension simple alternance sur la charge.

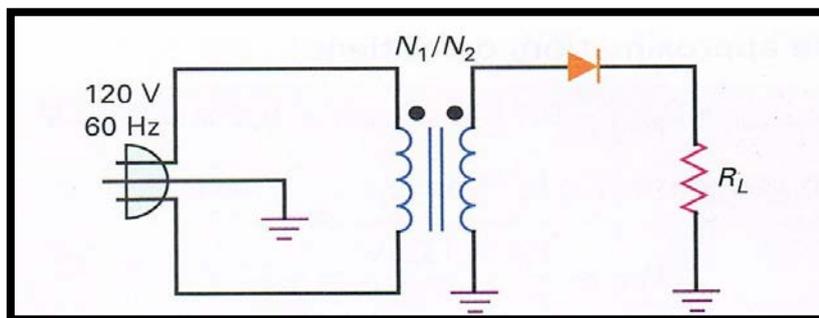


Figure 2.4 : Redressement simple alternance avec transformateur [7].

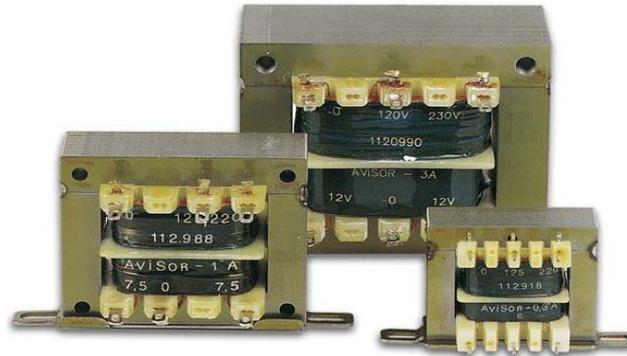


Figure 2.5 : Photos de transformateurs de différentes puissances [8].

Rapport de transformation :

La relation entre tension de sortie et tension d'entrée dans un transformateur est donnée par la

formule [7] : $V_2 = \frac{V_1}{N_1/N_2}$

Cela signifie que la tension au secondaire est égale à la tension au primaire divisée par le rapport de transformateur.

Les termes éleveur ou abaisseur parfois utilisés correspondent aux types de transformateurs, ils qualifient la relation entre la tension secondaire et la tension primaire. Un transformateur éleveur ($N_2 > N_1$) donne une tension secondaire supérieure à la tension primaire, et un transformateur abaisseur ($N_2 < N_1$) fait l'inverse [7].

2.2.1.2 Redressement de tension alternative

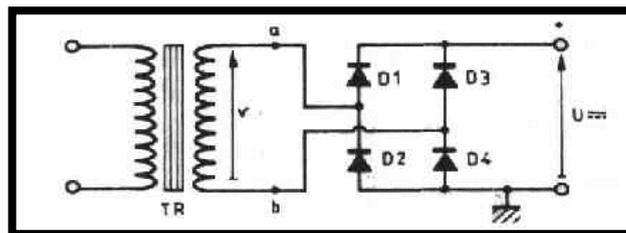


Figure 2.6 : Schéma d'un redresseur [7].

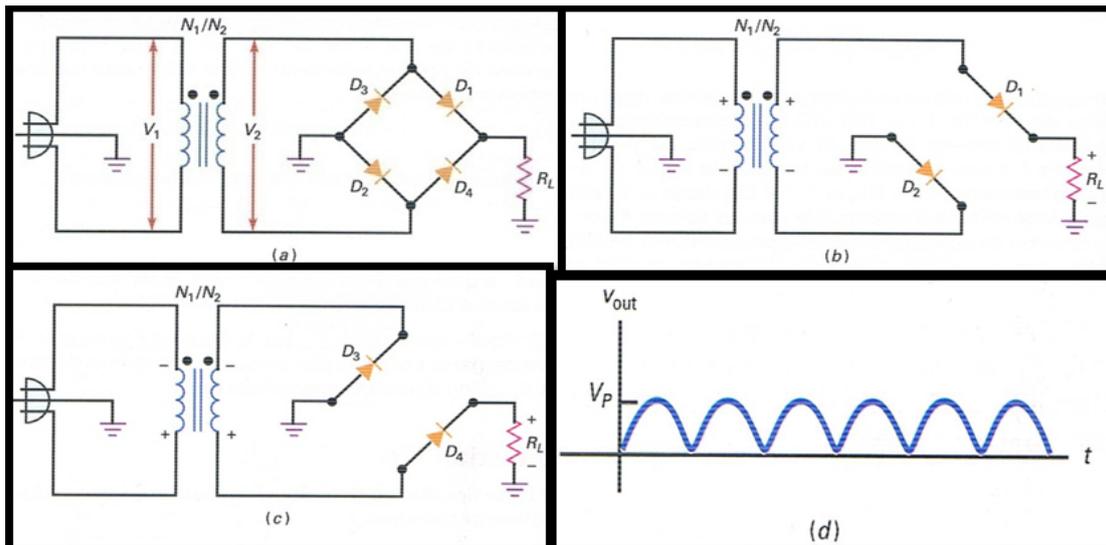


Figure 2.7 : (a)- Redresseur en pont, (b)- Circuit équivalent pour alternance positive, (c)- Circuit équivalent pour alternance négative, (d)- Signal de sortie [7].

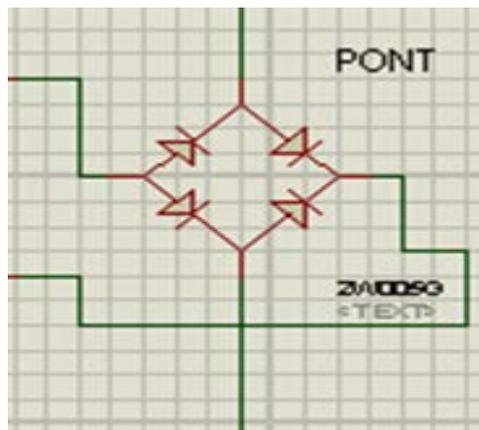


Figure 2.8 : Pont de redressement.

Le redressement du courant (ou tension) transforme le courant alternatif en courant unidirectionnel, la fonction est assurée par des diodes de redressement.

Un redressement simple alternance utilise une seule diode pour garder une seule alternance et supprimer l'autre. Un redressement double alternance utilise deux ou quatre diodes ; il délivre un signal redressé à double alternance. Nous utilisons un pont à quatre diodes (pont de Graetz) qui est représenté par la figure 2.9.

Une diode est un composant non linéaire, elle laisse passer le courant dans un seul sens ; elle est représentée par la figure 2.10.



Figure 2.9 : Un pont de Graetz [9].

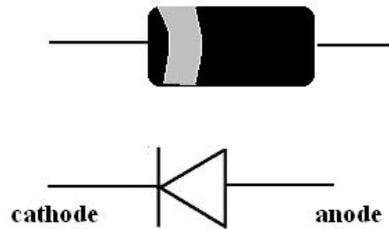
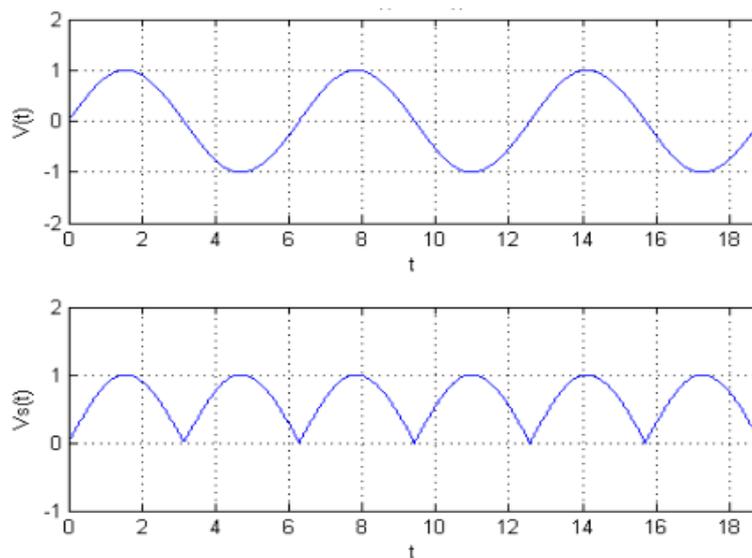


Figure 2.10 : Représentation d'une diode de redressement [10].

Figure 2.11 : Tensions avant ($v(t)$), et après le pont de diodes ($v_s(t)$) [11].

Les tensions avant et après le pont de Graetz sont illustrées par la figure 2.11.

La tension moyenne et la fréquence de sortie sont données par les relations suivantes [7] :

$$V_{DC} = \frac{2V_P}{\pi} \quad \text{et} \quad f_{out} = 2f_{in}$$

La valeur moyenne est 63.6% de la valeur crête et la fréquence de sortie est le double de la fréquence du réseau.

Si on considère les diodes idéales, le courant en sortie correspond à la valeur absolue du courant d'entrée.

2.2.1.3 Circuit de filtrage

Un filtre sert à lisser le courant redressé bruit fourni par le redresseur sous forme de tension pulsée (figures 2.12 et 2.13). Pour les faibles puissances on utilise des filtres à capacité d'entrée (condensateur), celle-ci servant de stockage pour les impulsions débitées par le redresseur ; on a des capacités de filtrage. Le filtrage utilisé dans notre montage est donné par la figure 2.14 où l'on a deux condensateurs C1 et C2 de grandes valeurs.

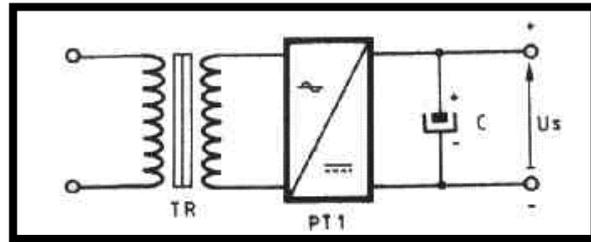


Figure 2.12 : Schéma d'un filtre [7].

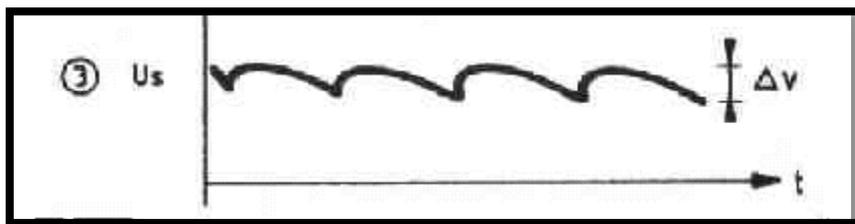


Figure 2.13 : Tension après filtrage [7].

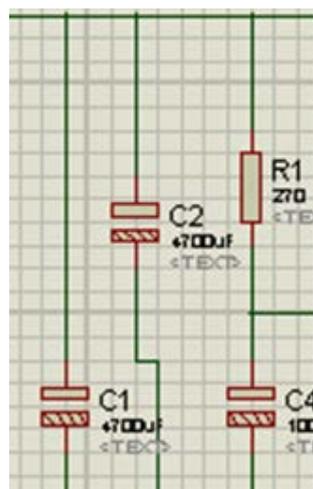


Figure 2.14 : Circuit de filtrage.

Dans les régulateurs, le condensateur sert d'accumulateur qui emmagasine les charges électriques quand la tension est haute et restitue ces charges quand la tension diminue. Le condensateur joue dans ce cas le rôle de réservoir tampon.

Pour le déparasitage (Capacité de découplage), de petites capacités sont placées à proximité de chaque circuit intégré. Elles absorbent les brusques mais courtes fluctuations de tension que sont les parasites.

2.2.2 Stabilisation de tension continue

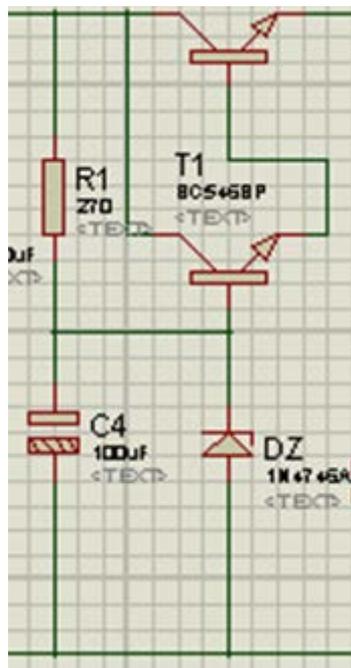


Figure 2.15 : Circuit de stabilisation (diode Zener).

2.2.2.1 Diode Zener (DZ)

La diode Zener est une diode très utilisée en régulation, elle permet de maintenir une tension constante [12].

2.2.2.2 Amplificateur de courant (Darlington)

Avant d'entrer au vif du sujet, il est utile de passer en revue l'amplificateur d'une manière générale.

Un amplificateur électronique est à base de transistors ; il sert à augmenter la tension et/ou l'intensité d'un signal électrique. L'énergie nécessaire à l'amplification est tirée de l'alimentation du système. Un amplificateur parfait ne déforme pas le signal d'entrée : sa sortie

est une réplique exacte de l'entrée mais d'amplitude majorée. Les amplificateurs électroniques sont utilisés dans quasiment tous les circuits électroniques.

Le courant de sortie des transistors est directement tiré de l'alimentation de l'amplificateur. Suivant la façon dont ils sont implémentés dans l'amplificateur, les composants actifs permettent ainsi d'augmenter la tension et/ou le courant du signal électrique d'entrée.

Les amplificateurs peuvent être conçus pour augmenter la tension (amplificateur de tension), ou le courant (amplificateur tampon ou suiveur) ou les deux (amplificateur de puissance) d'un signal. Les trois montages fondamentaux à transistors sont :

- Montage à émetteur commun (EC) : c'est le montage le plus universel car il permet un bon gain en tension et en courant avec des impédances d'entrée et de sortie moyennes.
- Montage à base commune (BC) : ce montage possède une faible impédance d'entrée et peut travailler assez haut en fréquences. Nous le rencontrons souvent en premier étage amplificateur des récepteurs radios FM.
- Montage à collecteur commun (CC) : ce montage est également appelé émetteur suiveur car son gain en tension est voisin de 1 ($u_S \cong u_E$). Par contre, il est utilisé comme abaisseur d'impédance ou comme amplificateur de courant (figure 2.16).

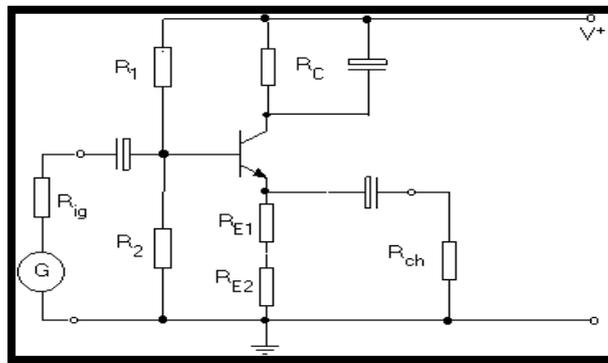


Figure 2.16 : Exemple d'un amplificateur à transistor monté en collecteur commun [7].

Dans le cas où on a besoin d'un grand courant, on utilise plutôt le montage Darlington (figure 2.17). C'est l'amplificateur utilisé dans notre montage et qui comporte deux transistors montés en collecteurs communs.

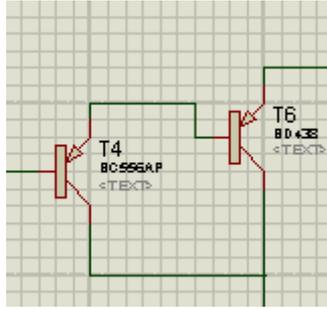
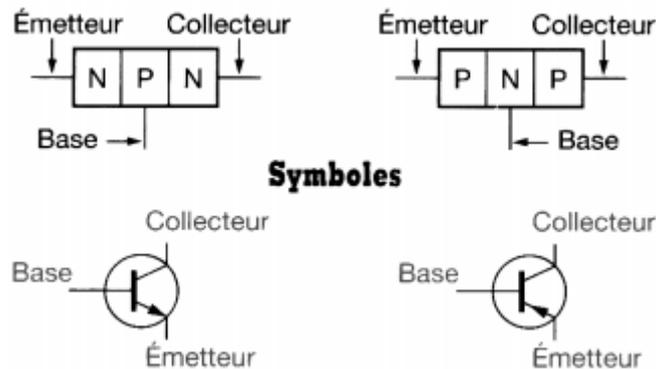


Figure 2.17 : Amplificateur Darlington.

Un transistor est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Selon le sens de montage de ces diodes on obtient 2 types de transistors :



Relations entre courants [13] :

- La loi des nœuds permet d'écrire [13]: $IE = IC + IB$
- D'autre part il existe une relation entre courant de base et courant collecteur due à l'effet transistor. Cette relation s'écrit [13] :

$IC = \beta \cdot IB$ (avec β = gain en courant du transistor)

REM : Ce coefficient β est souvent noté 'Hfe' dans les catalogues constructeurs. Il est parfois aussi appelé coefficient d'amplification statique en courant.

En règle générale β varie de 30 à 300 avec pour valeur courante [13] :

- Transistors dit "Petit signaux" : $100 < \beta < 300$
- Transistors dit de "Puissance" : $30 < \beta < 100$
- La relation (1) peut alors s'écrire [13] :

$IE = \beta \cdot IB + IB$ soit $IE = (\beta + 1) \cdot IB$

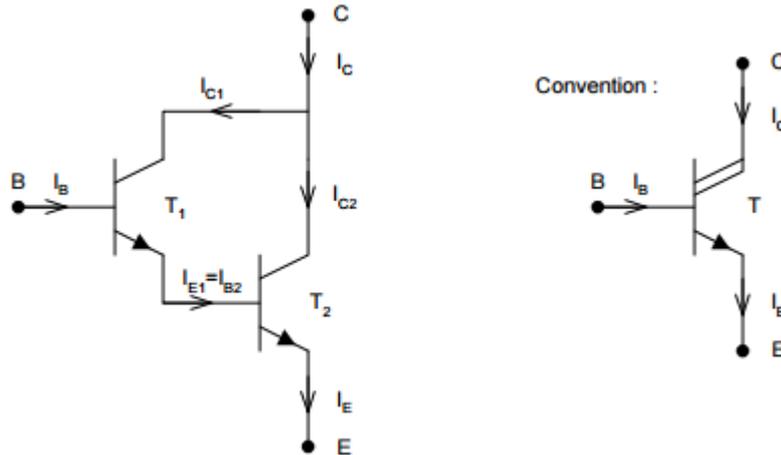
- Si $\beta \cdot IB$ est grand devant IB (ce qui est le cas pour les transistors "Petits signaux").

On peut alors écrire : [13]

$\beta + 1 = \beta$ et $IE = IC$

Gain total du Darlington

On prend comme un exemple le schéma structurel suivant :



Pour un fonctionnement linéaire d'un transistor bipolaire, on a $I_C = \beta \cdot I_B$. Si on applique cette relation ainsi que les lois de Kirchhoff au montage ci-dessus, on obtient [23] :

$$I_C = I_{C1} + I_{C2}$$

$$I_C = \beta_1 \cdot I_B + \beta_2 \cdot I_{B2}$$

$$\text{Or } I_{B2} = I_{E1} = I_{C1} + I_B = \beta_1 \cdot I_B + I_B = (\beta_1 + 1) \cdot I_B \text{ d'où :}$$

$$I_C = \beta_1 \cdot I_B + \beta_2 \cdot (\beta_1 + 1) \cdot I_B$$

$$I_C = \beta_1 \cdot I_B + \beta_2 \cdot \beta_1 \cdot I_B + \beta_2 \cdot I_B$$

$$I_C = (\beta_1 + \beta_2 \cdot \beta_1 + \beta_2) \cdot I_B$$

Si $\beta_1 = \beta_2$ alors :

$$I_C = (\beta^2 + 2 \cdot \beta) \cdot I_B \quad \text{or } \beta^2 \gg 2 \cdot \beta$$

Donc :

$$I_C \approx \beta^2 \cdot I_B$$

2.2.2.3 Circuit intégré CD 4001

Le C/MOS 4001 est un circuit intégré ayant 14 pins en DIL (Dual In Line Package), composé de 4 portes logiques NOR [7].

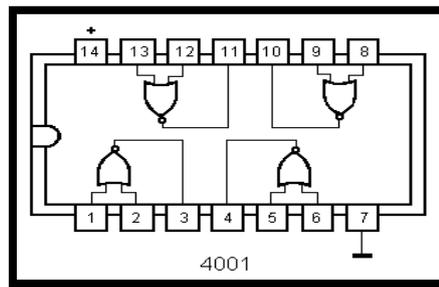


Figure 2.18 : Schéma interne du C/MOS 4001 [7].

Numéro de pins	Fonction
1, 2, 5, 6, 8, 9, 12, 13	Entrées données
3, 4, 10, 11	Sorties données
7	Reliée à la masse
14	Reliée à +Vcc

Tableau 2.19: Description des pins du C/MOS 4001 [7].

Symboles	Paramètre	Valeur	Unité
VDD	Tension d'alimentation	3 à 20	V
VI	Tension d'entrée	0 à VDD	V
TOP	Température de fonctionnement	(-40) à +85	°C

Tableau 2.20 : Conditions de fonctionnement recommandées du C/MOS 4001 [7].

2.2.3 Oscillateur astable

Un oscillateur astable est un circuit électronique qui génère un signal périodique rectangulaire. Ce signal se caractérise uniquement par des transitions d'un niveau H à un niveau L et vice-versa, à une fréquence déterminée par le circuit générateur ; ces deux états logiques L et H sont instables. Ce circuit est généralement appelé multivibrateur astable.

Un multivibrateur astable peut utiliser : un trigger de schmitt, des inverseurs, le circuit intégré 555, et un quartz [14].

La période T (s) et la fréquence f (Hz) sont liées par la relation : $F = \frac{1}{T}$

L'astable que nous utilisons (figure 2.21) est à base de portes NOR (CD4001).

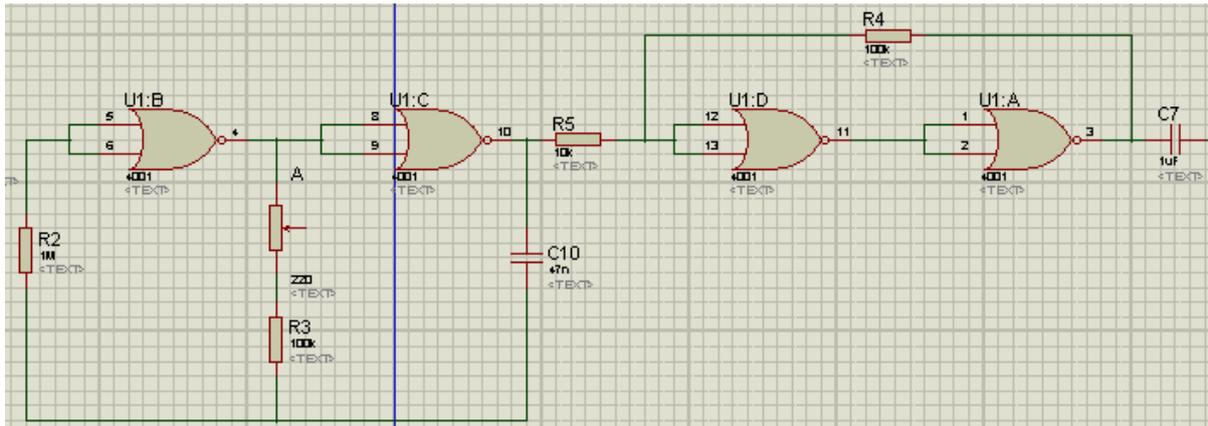
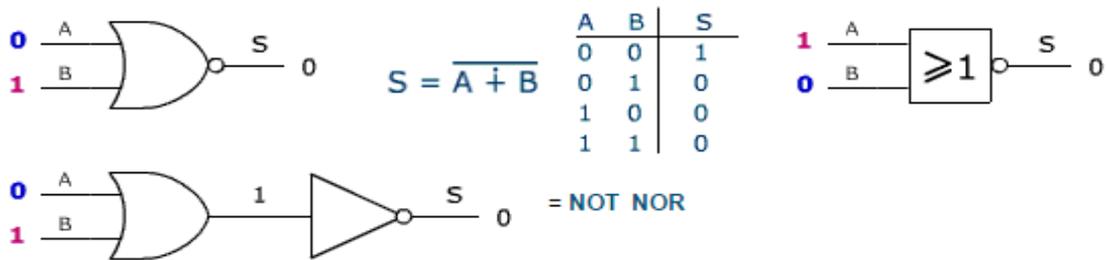
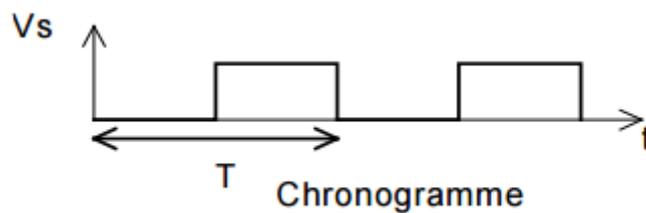


Figure 2.21 : Circuit d'oscillateur astable et Trigger de Schmitt.

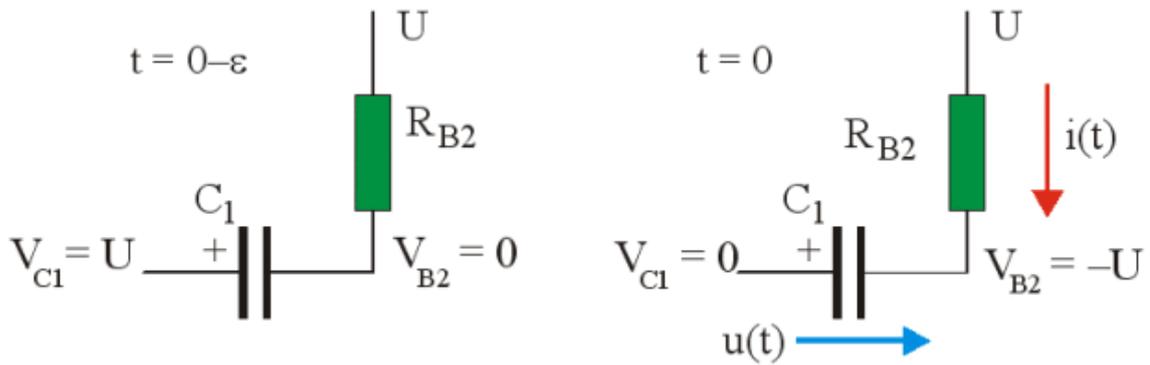
Ci-dessous, le tableau de vérité d'une porte NOR.



Ces montages astables ou multivibrateurs astables ont la particularité de produire des signaux rectangulaires de fréquence fixe obtenue à partir d'un réseau RC [15] :



Dans ce calcul, on suppose que la tension de seuil V_{BE} des jonctions base émetteur et la tension de saturation des transistors sont nulles. On prend comme origine des temps l'instant auquel T_1 se sature.



L'équation de la charge de C_1 est [16] :

$$R_{B2} \cdot i(t) + U(t) = U \quad i(t) = \frac{dQ}{dt} = C_1 \frac{dU(t)}{dt}$$

$$R_{B2} \cdot C_1 \cdot \frac{dU(t)}{dt} + U(t) = U \quad \tau \cdot \frac{dU(t)}{dt} + U(t) = U$$

Les solutions générales et particulières sont [16] :

$$U_1(t) = A \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \text{Et} \quad U_2(t) = U.$$

2.2.4 Trigger de Schmitt

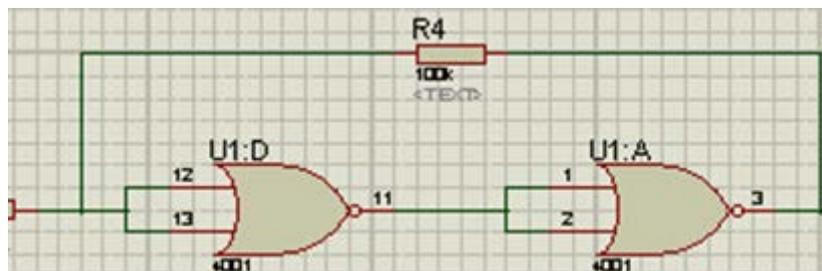


Figure 2.22 : Circuit de Trigger de Schmitt.

Un Trigger de Schmitt est un montage appelé bascule à seuil. Il ne génère pas de signaux mais permet leur mise en forme. La sortie du trigger ne peut avoir que deux états possibles. Elle passe de l'un à l'autre pour deux niveaux de la tension d'entrée selon que la variation de tension est croissante ou décroissante.

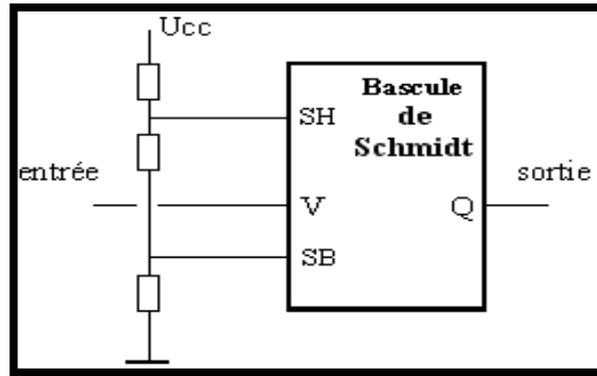


Figure 2.23 : Représentation de la bascule de Schmitt [17].

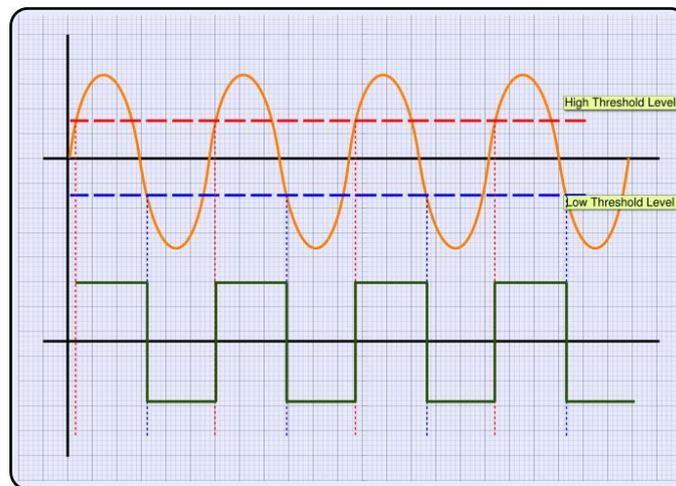


Figure 2.24 : Chronogramme du Trigger de Schmitt [18].

La principale application de la bascule de Schmitt est la mise en forme de signaux analogiques pour les appliquer à des circuits logiques (par exemple une entrée de compteur).

La bascule de Schmitt peut aussi être utilisée pour :

- Débarrasser un signal du bruit ; il suffit que l'écart entre SH et SB soit supérieur à l'amplitude crête-à-crête du signal ;
- Réaliser des circuits de contrôle avec hystérésis : thermostats, interrupteurs crépusculaires, maintien du niveau dans une cuve...

2.2.5 Circuit dérivateur

Les circuits dérivateurs, très connus dans le domaine d'électronique, permettent d'obtenir un signal de sortie proportionnel au dérivé du signal d'entrée. Ce type de circuit est fréquemment utilisé pour enlever la composante continue qui pourrait être indésirable dans un signal, et démoduler un signal FM dans le domaine de la radiophonie [19].

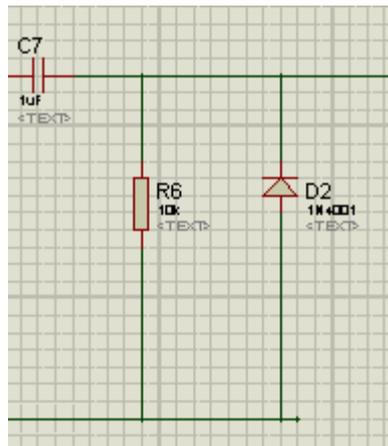


Figure 2.25 : Circuit dérivateur.

Si la constante de temps $\tau = R.C$ du circuit est nettement plus petite que la période du signal, on obtient en sortie une tension qui est pratiquement égale à la dérivée du signal d'entrée. On utilise souvent ce circuit pour fabriquer des impulsions à partir d'un signal carré.

2.2.6 Oscillateur monostable

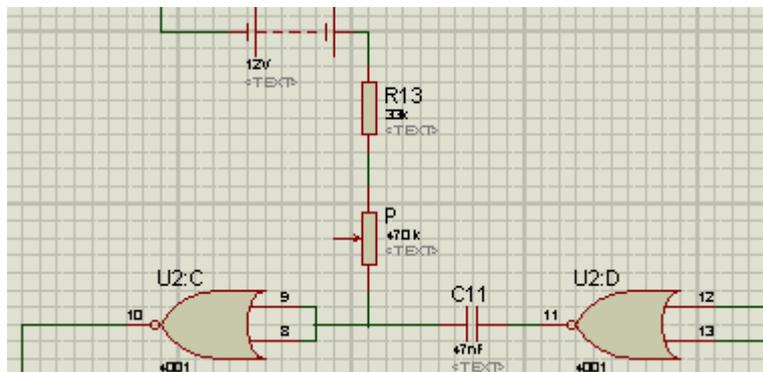


Figure 2.26 : Circuit d'oscillateur monostable.

Un oscillateur monostable est un circuit qui possède deux états : un état stable et un état instable. Quand il reçoit une impulsion de commande ou de déclenchement, il passe de l'état stable à l'état instable où il demeure pendant une durée T qui dépend d'un réseau RC. Le monostable réalise une fonction de temporisation utilisée chaque fois que l'on souhaite déclencher un dispositif avec retardement. Suivant les montages ou les besoins de temporisation, la temporisation peut aller de quelques micros secondes à quelques heures [20].

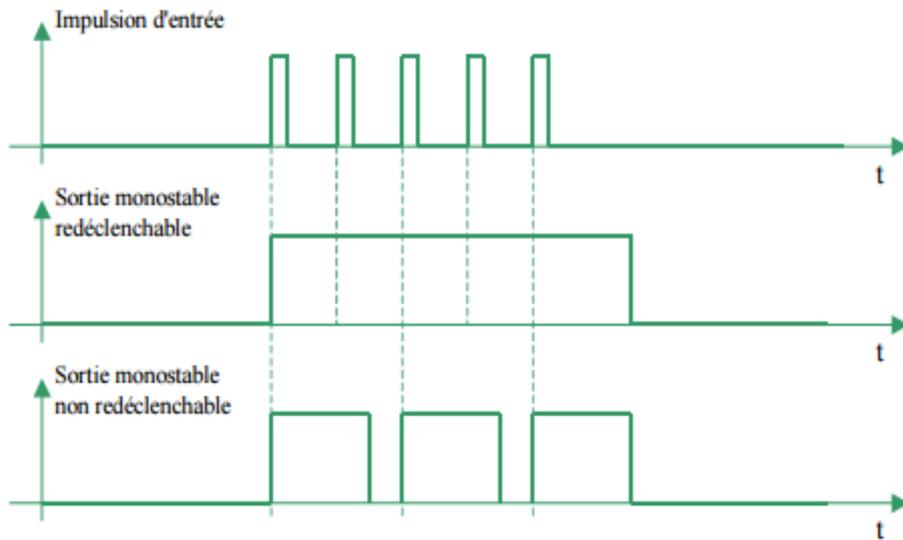


Figure 2.27 : Représentation du chronogramme d'un monostable [7].

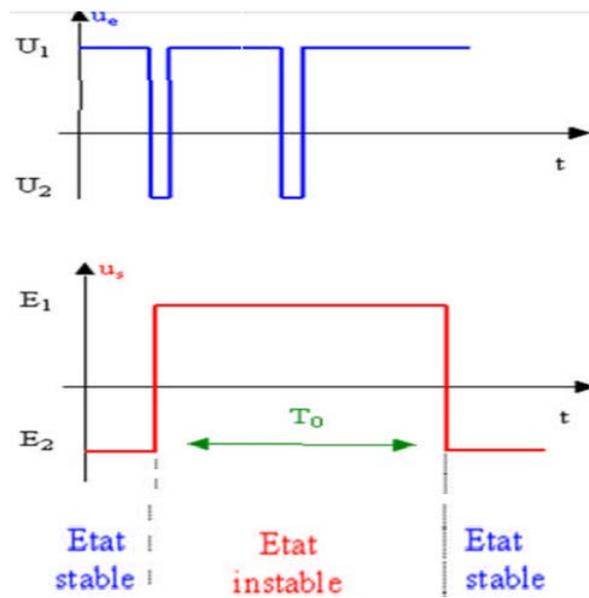


Figure 2.28 : Chronogramme d'un monostable de type non redéclenchable [7].

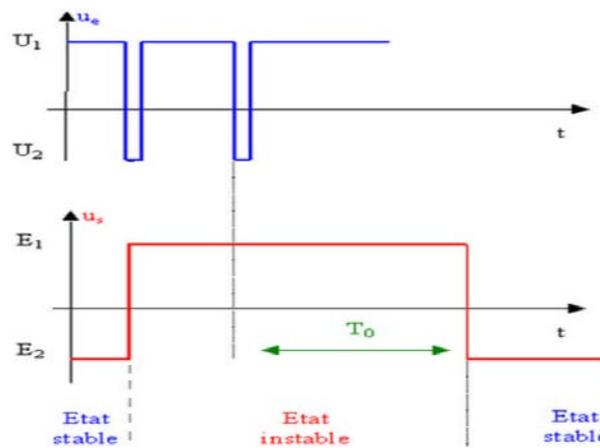


Figure 2.29 : Chronogramme d'un monostable de type redéclenchable [7].

Remarque concernant la fonction monostable : la présence du "1" désigne un monostable qui ne peut être déclenché qu'une seule fois ; il s'appellera un monostable non redéclenchable. En son absence, il s'agit donc d'un monostable redéclenchable.

Notre monostable est à base de portes NOR (CMOS 4001) qui peut être dessiné comme suit.

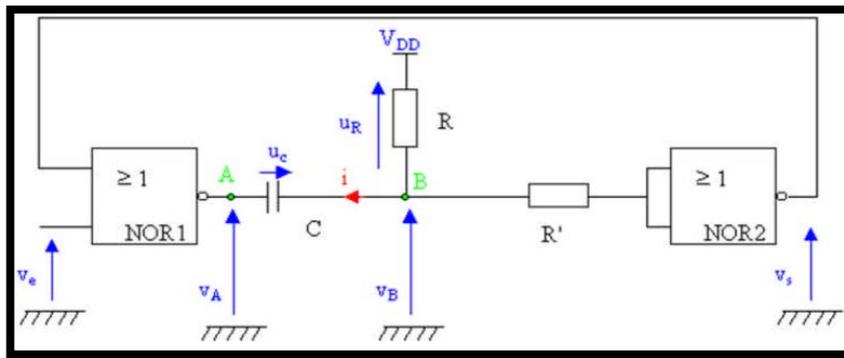


Figure 2.30 : Monostable à portes NOR [7].

L'alimentation se fait entre 0 (la masse) et V_{DD} .

R' est une résistance de protection car par moment $V_B < 0$ ou $V_B > V_{DD}$; elle n'est pas fonctionnelle.

Etat stable

Dans cet état les tensions n'évoluent pas, donc $U_C = Cte$ et $i = 0$

Si $i = 0$ alors $U_R = 0$ et $V_B = V_{DD}$

Si $V_B = V_{DD}$ alors $V_S = 0$

Si $V_S = 0$ et $V_E = 0$ alors $V_A = V_{DD}$

Si $V_A = V_{DD} = V_B$ alors $U_C = V_B - V_A = 0$

Résumé : pendant l'état stable ; $V_A = V_{DD}$, $V_B = V_{DD}$, $V_S = 0$, $U_C = 0$

Après l'impulsion : Si $V_s = V_{DD}$ et $V_e = 0$ alors $V_A = 0$ (en fait V_A reste "bloqué" à 0).

Juste après l'impulsion : $V_A = 0$, $V_B = 0$, $V_s = V_{DD}$, $U_C = 0$

Le condensateur se charge à travers R ; cet état dure tant que $U_C = V_B$ n'a pas atteint $V_{DD}/2$.

Si $U_C = V_B = V_{DD}/2$ alors la porte NOR2 bascule et $V_S = 0$ (retour à l'état stable).

Donc après l'impulsion, le condensateur se charge de 0 à $V_{DD}/2$:

$$T_0 = \tau \times \ln \frac{V_{DD} - 0}{V_{DD} - \frac{V_{DD}}{2}} = \tau \times \ln 2 = 0.7 \times \tau$$

Avec $\tau = R \times C$

Juste après l'impulsion, le monostable passe à l'état instable : U_C augmente, V_B augmente jusqu'à ce que $V_B = V_{DD}/2$.

Au retour à l'état stable $V_B = U_C = V_{DD}/2$, $V_S = 0$ donc $V_A = V_{DD}$

Le condensateur se décharge à travers R.

Si on considère que le condensateur est déchargé lorsque $U_c = 0,05 V_{DD}/2$, il faut attendre une durée $T_R = 3 \times \tau$. C'est le temps nécessaire pour que le monostable revienne à son état stable initial.

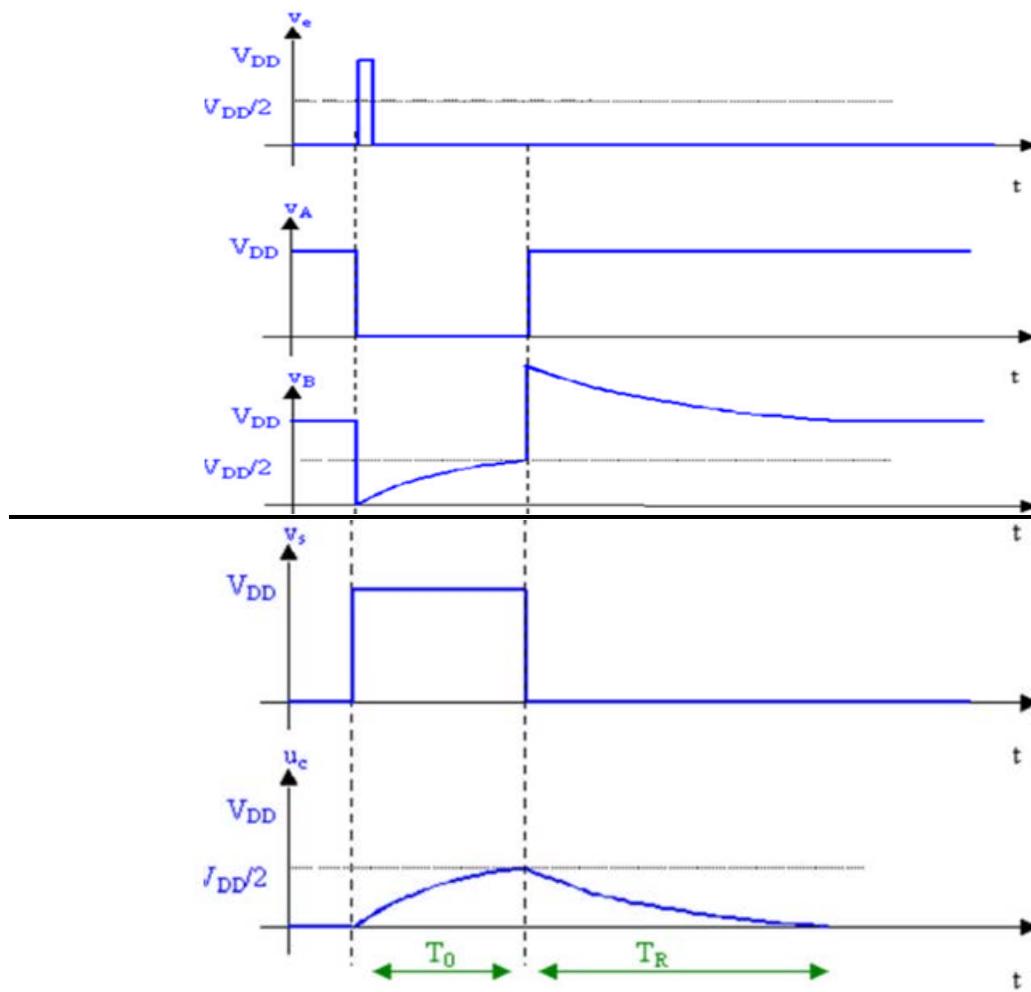


Figure 2.31 : Oscillogramme du signal de sortie du monostable [7].

Le monostable est un circuit très utilisé, il permet :

- de fixer la durée d'un événement.
- de retarder la production d'un événement.
- de contrôler la présence ou l'absence d'un signal périodique.
- d'effectuer un filtrage (blocage d'un signal dont la fréquence ne répond pas à une certaine plage de valeurs).

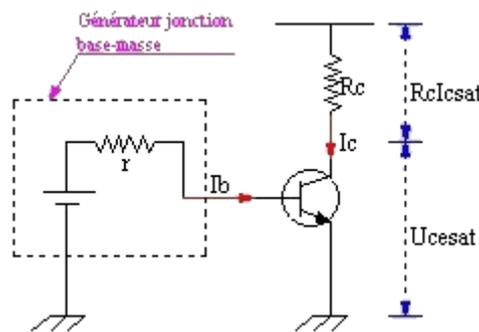
- de mesurer des fréquences, si on l'associe à un intégrateur RC [21].

2.2.7 Transistors en commutation

On dit qu'un transistor fonctionne en commutation, lorsqu'il passe de l'état saturé à l'état bloqué ou inversement. Dans ce cas, le passage d'un état à l'autre, doit se faire très rapidement, donc transition très rapide. Dans tous les cas, le transistor ne peut prendre que 2 états (0 ou 1).

Étude des deux états :

État saturé :



Lorsqu'un transistor entre en saturation son courant collecteur est [22] :

$$U_a = R_c \cdot I_{csat} + U_{cesat} \cdot$$

Si on tire I_{cesat} est très faible lorsque le transistor est saturé (quelques millivolts).

On peut dire que $U_a - U_{cesat}$ et sensiblement égale à U_a . Donc :

$$I_{cesat} = \frac{U_a}{R_c}$$

Il faut qu' I_b atteigne une certaine valeur pour saturer le transistor.

On sait que : $I_c = \beta I_b$. Donc :

$$I_b = \frac{I_{csat}}{\beta} = \frac{U_a}{\beta R_c}$$

Après cette valeur de I_b on peut l'augmenter au-delà cela ne changera rien à l'état dans lequel se trouve le transistor [22].

État bloqué:

Lorsqu'un transistor est saturé, sa jonction base-émetteur se comporte comme une diode passante. Dans cette jonction, la répartition des charges est analogue à celle d'un condensateur. Si on souhaite bloquer le transistor, le temps que les charges se réorganisent (après saturation) au niveau de la jonction base-émetteur, cela va provoquer un courant

inverse, dit courant inverse de blocage. La valeur de ce courant dépend de la rapidité avec laquelle le condensateur de la jonction base-émetteur va se bloquer [22].

2.2.7.1 Commutateur parfait

Chute de tension négligeable à l'état passant ($V = 0$).

Courant négligeable à l'état bloqué ($I = 0$).

En technologie électrique la commutation peut être réalisée par des contacts de relais (ou contacteurs).

En technologie électronique on utilise le fonctionnement en commutation des transistors :

Pour la commande de puissance (moteurs).

Pour le traitement des signaux numériques.

Pour réaliser les opérateurs logiques : circuits intégrés.

La commutation électronique utilise également d'autres composants :

- Diodes.
- Thyristors.
- Triacs.
- Transistors MOS, IGB [23].

2.2.7.2 Transistors NPN

Pour autoriser le passage du courant du collecteur à l'émetteur, il faut appliquer une tension relativement positive à la base.

Sur le symbole du schéma, la flèche pointe de la base vers l'émetteur et montre la direction du courant positif.

La tension appliquée à la base doit être supérieure d'au moins 0,6 V à celle appliquée à l'émetteur. Le collecteur doit être plus positif que l'émetteur [24].

2.2.7.3 Transistors PNP

Pour autoriser le passage du courant de l'émetteur au collecteur, il faut appliquer une tension relativement négative à la base.

Sur le symbole du schéma, la flèche pointe de l'émetteur vers la base et montre la direction du courant positif.

La tension appliquée à la base doit être inférieure d'au moins 0,6 V à celle appliquée à l'émetteur. L'émetteur doit être plus positif que le collecteur [24].

CHAPITRE 3

〔 Réalisation pratique 〕

Introduction

Dans les deux chapitres précédents, Nous avons étudié théoriquement l'ensemble des étages du montage électronique de notre réalisation : l'alimentation stabilisée, la base de temps et la commande de la graduation. Ceci nous a permis enfin d'aboutir à notre objectif qui est la réalisation pratique du montage en question : la graduation de vitesse.

Dans ce chapitre, nous allons présenter le circuit électrique du montage, les mesures pratiques aux différents points, notamment les entrées et les sorties de tous les étages ; et le circuit imprimé de sa réalisation. Le prélèvement des signaux est effectué à l'aide d'un oscilloscope.

3.1 Circuit électrique complet du montage

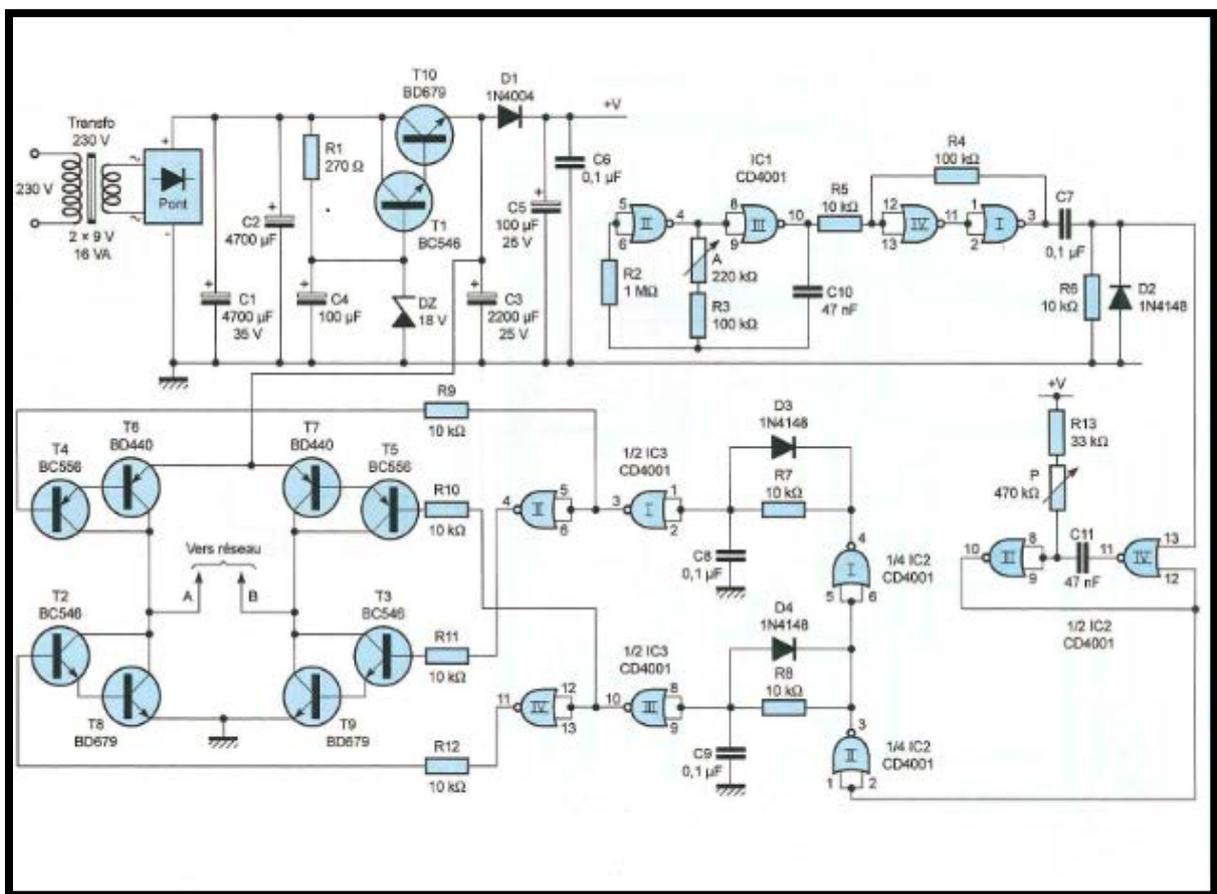


Figure 3.1 : Circuit électrique du gradateur de vitesse.

3.2 Fonctionnement détaillé du montage

3.2.1 Alimentation

L'énergie provient du secteur 220/230 V qui passe par un transformateur de puissance de 15 à 20 VA ; ce dernier nous délivre au secondaire une tension alternative d'environ 18 V (2x9 V) capable de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement du montage.

Un pont de diodes (pont de Graetz) redresse les deux alternances de cette tension.

Les condensateurs C1 et C2 de valeur importante (4700 μF), réalisent un premier filtrage de la tension redressée en lui conférant par la même occasion, une allure légèrement ondulée. Au niveau de la cathode de la diode Zener (DZ), nous relevons une tension de 18 V ; et le courant dans la Zener est limité par R1.

Ce courant est amplifié par les deux transistors T1 et T10 de type NPN qui constituent un montage Darlington (amplificateur de courant). Sur l'émetteur de T10, nous relevons un potentiel d'environ 16.8 V, suite à l'effet des deux jonctions base-émetteur des transistors qui constituent le Darlington.

La capacité C3 assure un filtrage complémentaire. Sur la cathode de la diode D1, nous disposons d'une tension continue et stabilisée d'environ 16 V, avec C5 qui apporte un dernier filtrage ; C6 est une capacité de découplage qui absorberait des parasites. Ces 16 V alimentent la logique du circuit de commande du gradateur.

3.2.2 Base de temps

Cet étage est alimenté sous une tension de 16.8 V. Il est formé par les portes NOR (II) et NOR (III) (Circuit intégré CI1 : CD4001) montées en oscillateur. Cet oscillateur génère des signaux rectangulaires dont la période dépend de l'ajustable A ; pour obtenir une période $T = 15 \text{ ms}$ c'est-à-dire $f = 66 \text{ Hz}$, la valeur de l'ajustable doit être de 45 $\text{k}\Omega$.

Les portes NOR (I) et (IV) du "IC1" forment un trigger de Schmitt dont le rôle consiste à donner aux fronts montants et descendants des signaux, une allure plus verticale.

C7, R6 et D2 forment un circuit dérivateur aux fronts montants du signal précédent. Au niveau de la cathode de la diode, nous relevons des impulsions positives très brèves dues à la charge rapide de C7 à travers R6, avec une période de 15 ms ; tout ce qui est négatif est évacué vers la masse à travers la diode.



Figure 3.2 : Signal de l'astable (Pin10 du IC1).

On peut calculer la période du signal pour les cas particuliers :

On a $T = 2.2 \times R_T \times C10$ où $R_T = R_3 + A = 100 \text{ k}\Omega + A$;

$$2.2 \times C10 = 103.4 \times 10^{-9}$$

Premier cas : $A = 0$; $R_T = R_3 = 100 \text{ k}\Omega$

$$T = 10^5 \times 103.4 \times 10^{-9}$$

$$T = 103.4 \times 10^{-4} \text{ s}$$

T = 10.3 ms

Deuxième cas : $A = 110 \text{ k}\Omega$; $R_T = 210 \text{ k}\Omega$

$$T = 103.4 \times 210 \times 10^{-6} \text{ s}$$

T = 21.7 ms

Troisième cas $A = 220 \text{ k}\Omega$; $R_T = 320 \text{ k}\Omega$

$$T = 103.4 \times 320 \times 10^{-6} \text{ s}$$

T = 33 ms



Figure 3.3 : Signal du trigger de Schmitt (Pin3 du IC1).

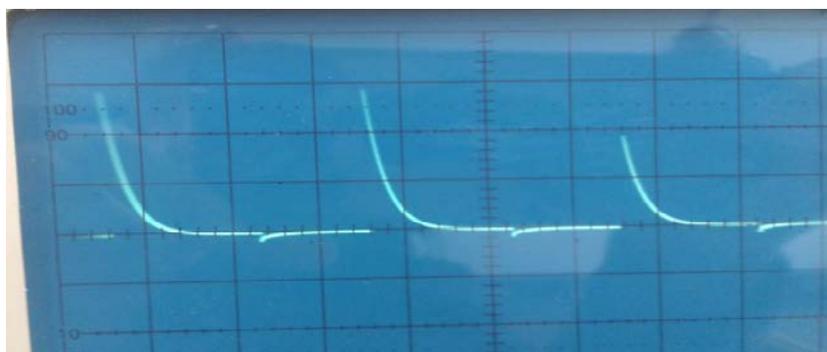


Figure 3.4 : Signal dérivé à la cathode de D2.

3.2.3 Circuit de commande de la graduation

Les portes NOR (III) et NOR (IV) (Circuit intégré CI2 : CD4001) sont montées en monostable qui délivre sur sa sortie un état haut dont la durée est fixée par le potentiomètre P, R13 et C11, pour chaque impulsion positive issue du dérivateur. P en position médiane, permet d'obtenir temporisation égale à 7.5 ms qui est la moitié de la période caractérisant la base de temps. En tournant P dans le sens de la diminution de la résistance, la largeur de l'état instable diminue pour atteindre à la limite un temps inférieur à 1 ms. Dans le sens inverse et en position maximale, on atteint une valeur de 15 ms.



Figure 3.5 : Signal du monostable (Pin10 du IC2).

3.2.4 Commande des alternances

Les états hauts délivrés par le monostable sont inversés par la porte NOR (II) en états bas, puis inversés une deuxième fois en états hauts par la porte NOR (I) (Circuit intégré CI2 : CD4001). Les portes NOR (I) et (II) d'une part, et les portes NOR (III) et (IV) d'autre part (Circuit intégré CI3 : CD4001), assurent les mêmes fonctions que les portes NOR précédentes (NOR (II) et (I)). Nous avons alors deux cas de figures qui se présentent :

- a. Quand on a un état haut sur la sortie de la porte NOR (II) du IC2 (un état bas sur NOR I) ; les transistors T2 (NPN) et T5 (PNP) sont activés respectivement par les résistances R12 et R10, ils conduisent. Dans cette situation, T3 (NPN) et T4 (PNP) sont bloqués.
- b. Quand on a un état bas sur la sortie de la porte NOR (II) du IC2 (un état haut sur NOR I) ; les transistors T3 (NPN) et T4 (PNP) sont activés respectivement par les résistances R11 et R9, ils conduisent. Dans cette situation, T2 (NPN) et T5 (PNP) sont bloqués.

3.2.5 Circuit de puissance

Nous avons quatre groupements de transistors en Darlington :

- Deux groupements de transistors NPN : T2/T8 et T3/T9.
- Deux groupements de transistors PNP : T4/T6 et T5/T7.

Au niveau de la sortie d'alimentation vers le réseau (A) et (B), nous avons :

- Une polarisation positive pour (A) et négative pour (B) quand la sortie de la porte NOR (I) de IC2 est à l'état haut (la porte NOR (II) est à l'état bas). Dans ce cas, on a l'état instable (haut) du monostable.
- Une polarisation négative pour (A) et positive pour (B) quand la sortie de la porte NOR (I) de IC2 est à l'état bas (la porte NOR (II) est à l'état haut). Dans ce cas, on a l'état stable (bas) du monostable.

Les différents cas sont représentés par les figures 3.6, 3.7 et 3.8.

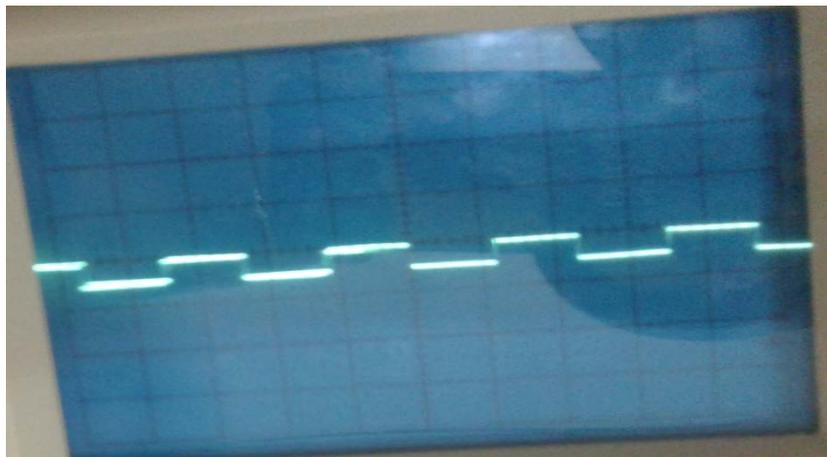


Figure 3.6 : Signal vers le réseau quand $T1 = T2$.

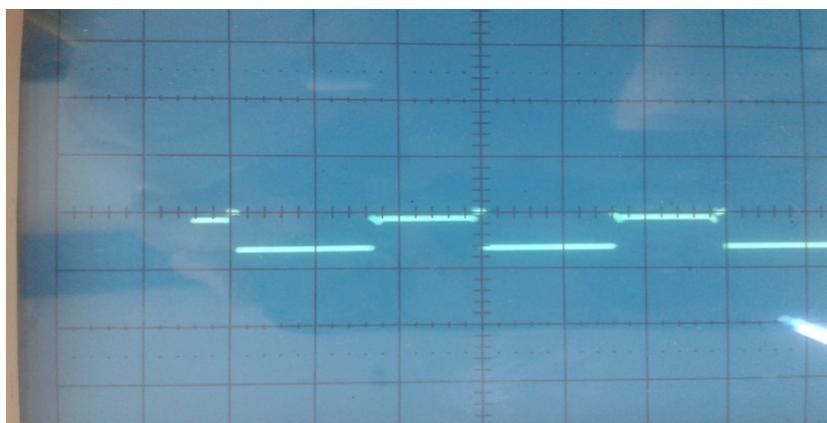


Figure 3.7 : Signal vers le réseau quand $T1 < T2$.

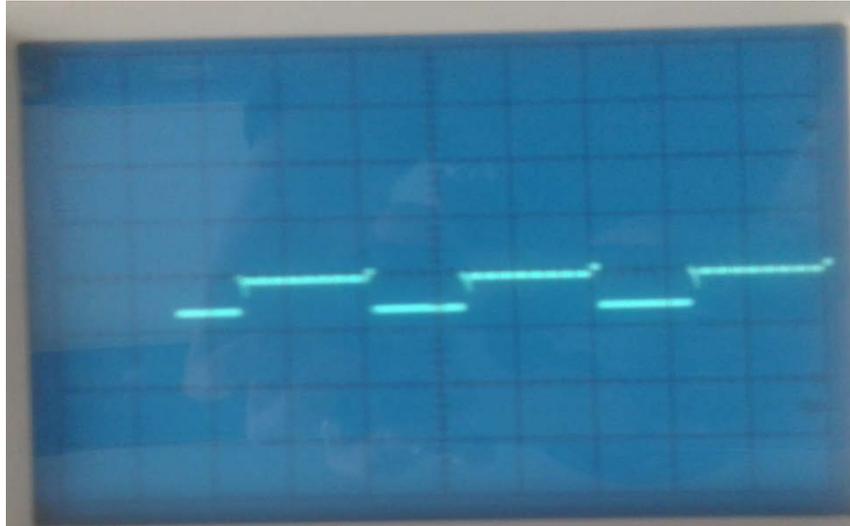


Figure 3.8 : Signal vers le réseau quand $T1 > T2$.

Premier cas : $T1 = T2$

Le moteur de traction de la locomotive est alimenté par un potentiel alternatif qui change de sens 66 fois par seconde. Les durées des deux alternances sont égales, le moteur ne tourne pas et la locomotive est à l'arrêt.

Deuxième cas : $T1 < T2$

La durée des alternances positives est inférieure à celle des alternances négatives, le courant moyen est négatif ; le moteur tourne et la locomotive avance dans un sens.

Troisième cas : $T1 > T2$

La durée des alternances positives est supérieure à celle des alternances négatives, le courant moyen est positif ; le moteur tourne et la locomotive avance dans le sens inverse.

Dans les trois cas, la valeur efficace du courant est la même (constante). Les ampoules d'éclairage des voitures sont alimentées par ce courant, l'éclairage reste donc le même dans toutes les situations.

3.2.6 Protection des transistors de puissance

Le temps de commutation change d'un transistor à un autre. Lors des changements de signes du courant, des transistors pourraient rester opérationnels pendant un certain temps avant de se bloquer complètement, alors que les autres entrent en conduction ; cela pourrait nuire à leur bon état.

Pour éviter ces inconvénients, le passage à l'état haut des entrées des portes NOR (I) et (III) du IC3 est retardé par la charge des condensateurs C8 et C9 au travers des résistances respectives R7 et R8. Pour le passage à l'état bas, la décharge est pratiquement instantanée grâce à D3 et D4.

3.2.7 Mise au point du montage

Une fois le potentiomètre est à sa valeur de résistance maximale, on agit sur l'ajustable A pour obtenir une période de la base de temps (PIN3 du IC1) légèrement supérieure à la durée des impulsions délivrées par le monostable (PIN10 du IC2). On peut obtenir ce résultat en commençant d'abord par l'ajustable à sa résistance maximale, puis on diminue sa résistance pour arriver à une vitesse maximale du moteur. Pour plus de stabilité, on retourne très légèrement dans l'autre sens.

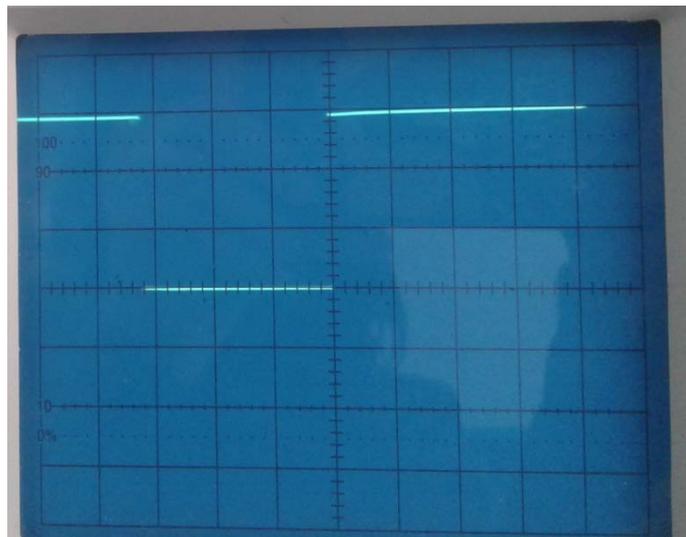


Figure 3.9 : Signal du monostable à résistance P maximale (Pin10 du IC2).

Circuit imprimé

Proteus ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs ; le logiciel permet également de simuler ces schémas, ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

Proteus ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement.

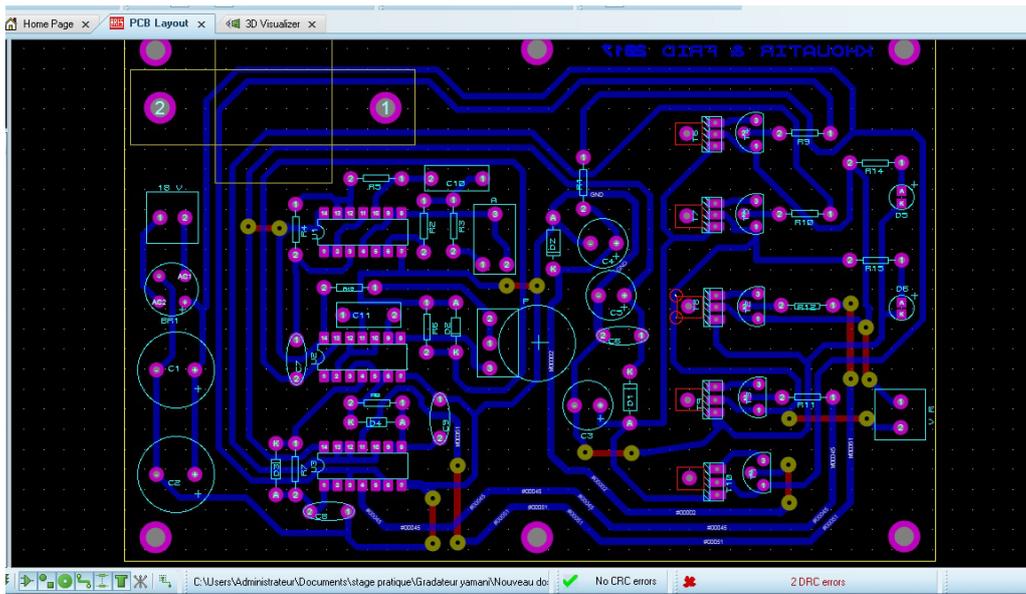


Figure 3.10 : Circuit imprimé, côté cuivre.

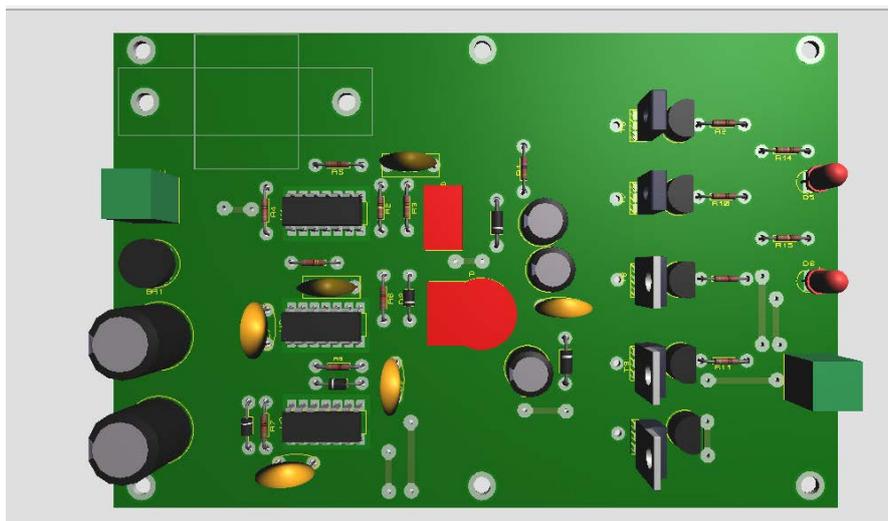


Figure 3.11 : Vue 3D du circuit imprimé avec composants.

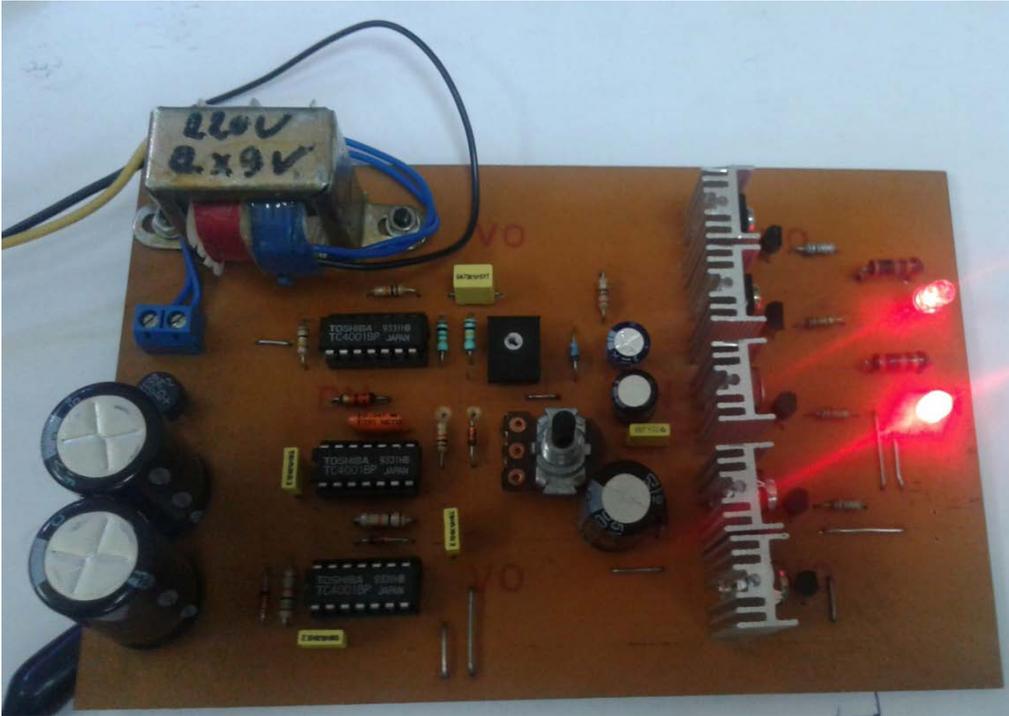


Figure 3.12 : Photo de la maquette.

Liste des composants**Résistances :**

R1 : 270 Ω (rouge, violet, marron).

R2 : 1M Ω (marron, noir, vert).

R3, R4 : 100K Ω (marron, noir, orange).

R13 : 33K Ω (orange, orange, orange).

A : Ajustable 220K Ω .

P : Potentiomètre 470 K Ω (linéaire).

Condensateurs :

C1, C2 : 4700 μ F/35V.

C3 : 2200 μ F/25V.

C4, C5 : 100 μ F/25V.

C6, C7, C8, C9 : 0.1 μ F.

C10, C11 : 47nF.

Semi-conducteurs :

D1 : 1N4004.

D2, D3, D4 : 1N4148.

DZ : Zener 18 V/1.3W.

T1, T2, T3 : BC 546.

T4, T5 : BC 556.

T6, T7 : BD 440.

T8, T9, T10 : BD 679.

Pont de diodes : RS 406.

IC1, IC2, IC3 : CD 4001.

Divers :

13 straps (10 horizontaux, 3 verticaux).

2 borniers soudables 2 plots.

Transformateur 230 V/2 *9 V/16 VA.

3 supports 14 broches

Bouton-flèche pour potentiomètre.

5 dissipateurs pour transistors de type BD.

Conclusion

Notre projet de fin d'étude a été divisé en 3 chapitres.

Dans le premier chapitre, nous avons parlé d'une façon générale du gradateur de vitesse (définitions, historique....).

Dans le deuxième chapitre, nous avons fait l'étude théorique des différents étages, à savoir : alimentation stabilisée, amplificateur de courant, oscillateur astable, trigger de Schmitt, dérivateur, oscillateur monostable, transistor de commutation.

Le troisième chapitre était consacré à la réalisation pratique du montage, aux mesures et interprétations.

Le choix d'un variateur de vitesse est intimement lié à la nature de la charge entraînée et aux performances visées, toute définition et recherche d'un variateur de vitesse doivent passer par une analyse des exigences fonctionnelles de l'équipement puis des performances requises pour le moteur lui-même. Il faut donc tenir compte de la gamme de vitesse souhaitée pour choisir convenablement l'association moteur / variateur.

Notre projet n'est pas d'un choix universel qui répond aux exigences les plus strictes, mais il assure l'éclairage exigé dans les voitures d'un train. Ce gradateur permet le pilotage d'un train à différentes vitesses, tout en maintenant le même éclairage dans les voitures.

ANNEXE

Circuit intégré CD 4001

Le C/MOS 4001 est un circuit intégré ayant 14 pins en DIL (Dual In Line Package), composé de 4 portes logiques NOR.

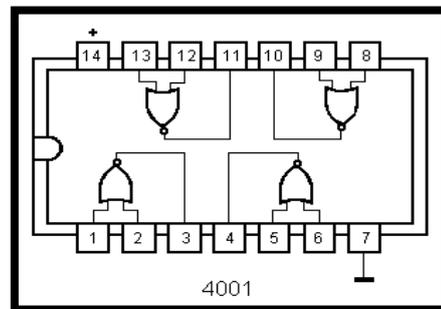


Schéma interne du C/MOS 4001.

Numéro de pins	Fonction
1, 2, 5, 6, 8, 9, 12, 13	Entrées données
3, 4, 10, 11	Sorties données
7	Reliée à la masse
14	Reliée à +Vcc

Description des pins du C/MOS 4001.

Symboles	Paramètre	Valeur	Unité
VDD	Tension d'alimentation	3 à 20	V
VI	Tension d'entrée	0 à VDD	V
TOP	Température de fonctionnement	(-40) à +85	°C

Conditions de fonctionnement recommandées du C/MOS 4001.

Bibliographie

- [1] <http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=2419>.
- [2] [https://www.google.dz/search?q=\(D%C3%A9marreurs+et+variateurs+de+vitesse+%C3%A9electroniques++Schneider+Electric\).&oq=\(D%C3%A9marreurs+et+variateurs+de+vitesse+%C3%A9electroniques++Schneider+Electric\).&aqs=chrome..69i57.1731j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.dz/search?q=(D%C3%A9marreurs+et+variateurs+de+vitesse+%C3%A9electroniques++Schneider+Electric).&oq=(D%C3%A9marreurs+et+variateurs+de+vitesse+%C3%A9electroniques++Schneider+Electric).&aqs=chrome..69i57.1731j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8).
- [3] <http://www.hydroquebec.com/pdf/fr/2014G1120F-variateur-de-vitesse.pdf>.
- [4] http://for-ge.blogspot.com/2015/04/variateur-de-vitesse_9.html.
- [5] <http://www.distributechmaroc.com/variateurs-de-vitesse-/278-variateur-de-vitesse-lslg-abb-mitsubishi.html>.
- [6] <http://www.hellopro.fr/variateur-de-vitesse-pour-moteur-electrique-2015651-247934-produit.html>.
- [7] R. SOUMMAR, E.A. MOSTEFA "Etude et réalisation d'un capteur de bruit" ; projet de fin d'études de master en instrumentation électronique, Université de Tlemcen, 2015.
- [8] https://www.google.dz/search?q=transformateur+18+v&espv=2&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwittPbZisXSAhUHuhokKHUtUBMcQ_AUICCGB&biw=1366&bih=662#imgrc=Ou5MVCV8KuveSGM.
- [9] [https://www.google.dz/search?q=\(pont+de+diode\)&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwitiq8u_15DSAhXIOxQKHdxKCj4Q_AUIBigB#imgrc=AmIW2F_at-n9iM:](https://www.google.dz/search?q=(pont+de+diode)&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwitiq8u_15DSAhXIOxQKHdxKCj4Q_AUIBigB#imgrc=AmIW2F_at-n9iM:).
- [10] https://www.google.dz/search?q=une+diode&espv=2&biw=1366&bih=662&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwio2sOnlpDSAhXF1BoKHayNB0oQ_AUIBigB#imgrc=hhWi-4GklKQw7M.
- [11] <http://for-ge.blogspot.com/2015/08/les-redresseurs.html>.
- [12] <http://www.electronique-radioamateur.fr/elec/composants/diode-zener.php>.
- [13] <http://robert.cireddu.free.fr/SI/Cours%20sur%20les%20transistors.pdf>.
- [14] http://www.electronique-et-informatique.fr/Electronique-et-Informatique/Digit/Digit_6TS2.php.
- [15] http://gilles.berthome.free.fr/02-Syntheses/B-Production_signaux/Synthese_astable.pdf.
- [16] http://res-nlp.univ-lemans.fr/NLP_C_M15_G02/co/Contenu_57.html.
- [17] <https://2ste-o.blogspot.com/p/trigger-de-schmitt.html>.
- [18] [https://www.google.dz/search?q=\(trigger+de+schmitt\)&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjNhM6omZDSAHUDPxQKHfsyDxkQ_AUICCGB&biw=1366&bih=662#imgrc=d_uOWYgSn_3vTM](https://www.google.dz/search?q=(trigger+de+schmitt)&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjNhM6omZDSAHUDPxQKHfsyDxkQ_AUICCGB&biw=1366&bih=662#imgrc=d_uOWYgSn_3vTM).

Bibliographie

- [19] http://www.genie-des-maths.polymtl.ca/exemples/equations_differentielles/ex17/ex17.pdf.
- [20] <http://cours-techniques.blogspot.com/2011/06/les-multivibrateurs.html#axzz4b8vuXsgE>.
- [21] https://www.sonelec-musique.com/electronique_bases_monostables.html.
- [22] <http://fastoche.pagesperso-orange.fr/Transistors/Transistorencommutation.htm>.
- [23] [file:///C:/Users/Byc/Downloads/Transistor%20en%20commutation%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Byc/Downloads/Transistor%20en%20commutation%20(1).pdf).
- [24] <http://serialmakers.com/tout-sur-les-transistors-npn-et-pnp/>.

Résumé

Le variateur de vitesse est composé essentiellement d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire agissant principalement sur le "lissage" de la tension de sortie du redresseur, d'un onduleur et d'un circuit de commande pilotant le redresseur, le circuit intermédiaire et l'onduleur. Il est principalement caractérisé selon la séquence de commutation qui commande la tension d'alimentation du moteur.

Dans notre projet de fin d'études ; nous avons réalisé un gradateur (ou variateur) de vitesse qui sert à commander la tension d'alimentation du moteur d'une manière continue, tout en résolvant le problème d'éclairage des voitures du train. En fait, ce montage permet de maintenir le même éclairage quelle que soit la vitesse du train même à l'arrêt total.

Abstract: The speed controller consists essentially of a rectifier, an intermediate circuit acting mainly on the smoothing of the rectifier output voltage, an inverter and a control circuit driving the rectifier, the intermediate circuit and the inverter. It is mainly characterized according to the switching sequence which controls the supply voltage of the motor.

In our project of studies end; we realized a speed dimmer (speed variator) which serves to control the supply voltage of the motor in a continuous manner, while solving the lighting problem of the train cars. In fact, this assembly makes it possible to maintain the same illumination irrespective of the speed of the train even when it is completely stopped.

ملخص: محرك مغير السرعة يتكون أساسا من معدل; دائرة كهربائية وسيطة مؤثرة بالأخص على تمليس التوتر الخارج من المعدل; من محول و دائرة التحكم التي تقوم بقيادة المعدل; الدارة الوسيطة و المحول. و هو يعمل أساسا وفقا لتسلسل التبديل الذي يتحكم في شدة تزويد المحرك.

و في مشروعا لنا نهاية الدراسات الجامعية أنجزنا محرك مغير السرعة الذي يقود توتر إمدادات التيار الكهربائي للمحرك بصورة مستمرة مع حل مشكلة إضاءة عربات القطار. في الواقع; هذا التصميم يسمح لنا بالمحافظة على نفس الإنارة مهما كانت سرعة القطار حتى ولو كان في حالة توقف كلي.