

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTÉ DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DÉPARTEMENT D'ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Fin d'Études de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Électrotechnique
Spécialité : **Machines électriques**

Présenté par

MEZIANI Nora

Thème

Réalisation d'une source de courant

Mémoire soutenu publiquement le 02/07/2024 devant le jury composé de :

Mme Ferroudja BITAM-MEGHERBI

Professeure, UMMTO, Présidente

Melle Rahma KACHENOURA

M.C.B, UMMTO, Encadrante

M M'hand MEKIOUS

M.C.B, UMMTO, Examineur

Remerciement

A l'issue de ce travail, j'adresse mes remerciements à mon encadreur *M^{elle}* Kachenoura Rahma, pour avoir dirigé ce travail, et pour la confiance et l'intérêt qu'elle a témoigné tout au long de la réalisation de ce travail, son expérience et sa connaissance ont contribué à ma formation scientifique. Mes remerciements distingués vont aussi à *M^{me}* Megherbi Feroudja professeur à l'Université Mouloud Mammeri, pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance. Ainsi, je remercie vivement Monsieur Mekious M'hend professeur à l'université Mouloud Mammeri pour avoir accepté d'examiner ce mémoire. Je tiens à remercier tous ceux qui ont participé à l'élaboration de ce travail.

• Introduction générale.....	1
• Chapitre I.....	2
• I.1 Introduction.....	3
• I.2 Les sources de courant.....	3
• I.2.1 Caractéristique d'une source de courant.....	3
• I.2.2 Types de source de courant.....	4
• I.3.1 Histoire du circuit miroir.....	6
• I.3.2 Synthèse chronologique des circuits miroirs.....	6
• I.4 Comparaison entre les BJT et les MOSFET.....	9
• I.5 Conclusion.....	10
• Chapitre II :Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant.....	11
• II.1 Introduction.....	12
• II.2 Transistor MOSFET.....	12
• II.2.1 Les composants du MOSFET.....	13
• II.2.2 Différence entre P-Channel et N-Channel.....	14
• II.3 Caractéristiques statiques.....	16
• II.3.1 Définition.....	16
• II.3.2 Equation du MOSFET.....	17
• II.3.3 Régime linéaire.....	18
• II.3.4 En régime saturation.....	18
• II.4 Circuit miroir à base de MOSFET.....	19
• II.4.1 Définition.....	19
• II.4.2 Circuit miroir basic.....	20
• II.5 Modèle proposé.....	21
• II.5.1 Mise en équations.....	22
• II.6 Conclusion.....	23
• Chapitre III :Etude et simulation de la structure proposée.....	25
• III.1 Introduction.....	26
• III.2 Modèle du transistor MOSFET utilisé sous MATLAB.....	26
• III.2.1 Solutions pour améliorer le montage proposé par Hellali et Guettas.....	26
• III.2.2 Caractéristiques de la puissance dissipée.....	26
• III.2.3 Caractéristique du MOSFET 6R045.....	28
• III.3 Simulation.....	29
• III.3.1 Threshold Based.....	30
• III.3.2 Threshold-based with thermal.....	31
• III.4 Résultats de simulation.....	31
• III.5 Interprétation.....	34
• III.6 Conclusion.....	36
• Chapitre IV : Mise en œuvre de la réalisation finale.....	37
• IV.1 Introduction.....	38
• IV.2 Circuit élémentaire amélioré.....	38
• IV.3 Système de refroidissement adopté.....	39
• IV.4 Montage pratique.....	40

- **IV.5 conclusion**..... 42
- **Conclusion générale**..... 43

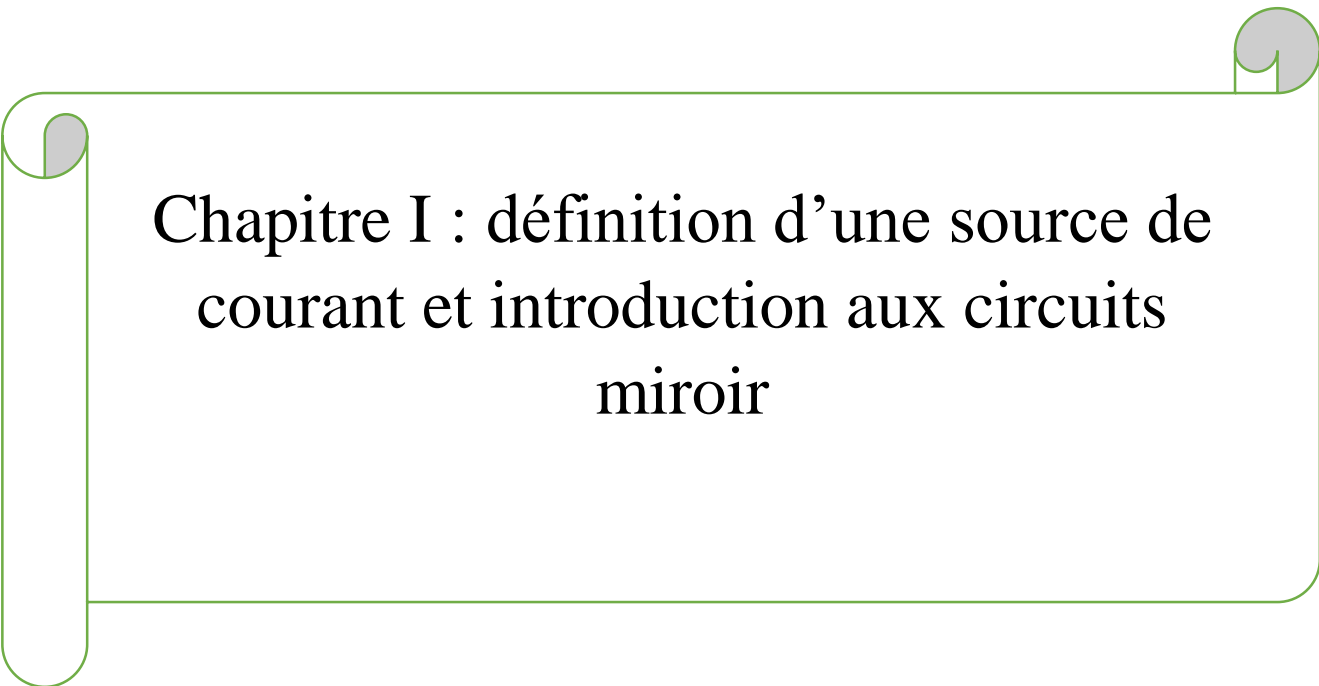
Introduction générale :

La révolution industrielle a marqué une époque de transformation profonde et rapide, impulsant une modernisation sans précédent dans divers domaines tels que les transports, la médecine et le secteur militaire, parmi tant d'autres. Ces avancées ayant profondément et positivement impacté le cours de notre histoire et le développement des industries, n'ont pas été réalisées sans conséquences. Au fil des décennies, la prise de conscience environnementale a mis en exergue des problématiques critiques liées à l'activité humaine, notamment le réchauffement climatique, les augmentations des émissions de gaz à effet de serre et la pollution atmosphérique. Ces défis environnementaux appellent à une réflexion urgente sur nos méthodes de production et de gestion des déchets, soulignant la nécessité impérieuse de se tourner vers des alternatives énergétiques et de recyclage moins polluantes, afin de préserver notre planète pour les générations futures.

L'enjeu de ce projet dépasse le cadre académique ; il s'agit d'une démarche vers l'innovation durable, cherchant à répondre aux défis environnementaux actuels par la technologie. En fournissant une infrastructure de recherche adéquate pour l'étude des super condensateurs, nous contribuons non seulement à l'avancement scientifique dans le domaine du stockage d'énergie mais aussi à la formation d'une nouvelle génération de chercheurs et d'ingénieurs conscients des enjeux écologiques. Ceux-ci seront armés des connaissances et des compétences nécessaires pour développer des solutions énergétiques durables, capables de soutenir notre société tout en préservant l'équilibre écologique de notre planète.

Notre travail s'inscrit donc dans une perspective à long terme, visant à équiper les futurs acteurs du changement avec les outils et les connaissances nécessaires pour faire face aux défis environnementaux. En se concentrant sur le développement et l'étude approfondie des super condensateurs, nous aspirons non seulement à améliorer les performances de ces dispositifs mais également à ouvrir la voie à de nouvelles applications dans les secteurs de l'énergie renouvelable, de la mobilité électrique et au-delà. Ainsi, notre recherche contribue à poser les fondations d'un avenir où les avancées technologiques et le respect de l'environnement vont de pair, garantissant un monde meilleur pour les générations à venir.

Dans les prochains chapitres de ce mémoire nous allons introduire la source de courant avec ses différents types et nous focaliser sur le circuit miroir qui sera modifié par la suite et le choix des MOSFETS adéquats pour atteindre l'objectif de notre travail qui est la réalisation d'une source de courant variable et stable allant jusqu'à 5A sans contraintes .

A decorative frame resembling a scroll, with a green border and rounded corners. The top and bottom edges are slightly curved, and there are small grey circular accents at the corners.

Chapitre I : définition d'une source de courant et introduction aux circuits miroir

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons faire une introduction sur les sources de courant et un historique sur les circuits miroir qui sont de bons candidats pour la conception de cette dernière et nous allons introduire une comparaison entre les MOSFETS et les BJTS.

I.2 Les sources de courant :

Dans le monde idéal de l'électronique, une source de courant idéale est conçue pour délivrer un courant constant, quelles que soient les variations de tension auxquelles elle est soumise. La particularité de cette source repose sur sa capacité à ajuster la tension générée en fonction de l'impédance de la charge à laquelle elle est connectée. Ainsi, peu importe les caractéristiques ou la nature de la charge (résistive, capacitive, ou inductive), la tension s'adapte pour maintenir le courant à une valeur constante.[3]

Cette flexibilité théorique signifie que la tension à travers une source de courant idéale peut atteindre n'importe quelle valeur nécessaire pour compenser les variations de charge, permettant ainsi au courant de rester invariable. Cette propriété sous-entend une capacité de la source de courant idéale à fournir une puissance potentiellement illimitée, puisque la puissance, qui est le produit de la tension par le courant, pourrait s'adapter à l'augmentation de la tension sans que le courant ne change

Cependant, il est important de souligner que cette description appartient au domaine théorique. Dans la pratique, les sources de courant réelles sont soumises à des contraintes techniques et matérielles qui limitent leur capacité à maintenir un courant constant sous une large gamme de tensions. Les considérations pratiques incluent la sécurité, l'efficacité, et les limitations physiques des composants, qui imposent des plafonds à la tension et à la puissance que peut réellement fournir une source de courant.[3]

I.2.1 Caractéristique d'une source de courant :

Lorsqu'il s'agit de développer ou d'acquérir une source de courant pour des applications spécifiques, le processus de décision doit être guidé par une série de critères précis, adaptés à l'usage envisagé. En effet, bien que les sources de courant constantes soient conçues pour maintenir un flux constant, elles opèrent dans un spectre de fonctionnement qui a ses limites. Au-delà d'un certain seuil de tension, leur capacité à fournir un courant constant commence à fléchir, soulignant ainsi l'importance d'une évaluation rigoureuse des caractéristiques techniques et des performances avant de procéder à une sélection, donc on a :

Chapitre I : Définition d'une source de courant et introduction aux circuits miroir

- Courant maximal pouvant être délivré ;
- Tension maximale applicable à la charge ;
- Puissance maximale, calculée à partir de la tension sur la charge et du courant fourni ;
- Amplitude de variation du courant si celui-ci est ajustable ;
- Précision, mesurée par l'écart entre le courant réglé et le courant effectivement produit ;
- Stabilité, évaluée par les fluctuations du courant sur une période donnée en réponse à des changements de conditions ;
- Immunité face aux variations de la tension d'entrée, garantissant une sortie constante malgré les fluctuations d'alimentation ;
- Comportement face aux changements de charge ;
- Capacité de récupération suite à une baisse de charge ;
- Fiabilité du système de régulation.

I.2.2 Types de source de courant :

Dans le domaine de l'électrotechnique, l'énergie est généralement fournie sous la forme d'une tension alternative de fréquence fixe et d'amplitude fixe, ou sous forme d'une tension continue si elle vient d'élément de stockage telle que les batteries. Toutefois, on peut aussi croiser des sources naturelles de type courant comme une génératrice à courant continu. Mais on peut aussi rencontrer d'autres sources de type courant tel que [3] :

✓ Cellule photovoltaïque :

Une cellule photovoltaïque fonctionne comme une source de courant en convertissant la lumière du soleil directement en électricité grâce à l'effet photovoltaïque. Le cœur de ce processus réside dans les matériaux semi-conducteurs dont est composée la cellule, généralement du silicium. Lorsque la lumière solaire frappe ces matériaux, elle libère des électrons de leurs atomes, créant ainsi un flux d'électrons - c'est-à-dire un courant électrique.

Ce courant généré par une cellule photovoltaïque est directement proportionnel à l'intensité de la lumière incidente. Ainsi, plus l'exposition à la lumière est forte, plus le courant produit sera important. Il est important de noter que les performances d'une cellule photovoltaïque peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que la température et l'angle d'incidence de la lumière solaire. Le courant obtenu est proportionnel à la puissance lumineuse incidente. C'est à dire que la valeur de courant est incontrôlable.[3]

Chapitre I : Définition d'une source de courant et introduction aux circuits miroir

Les cellules photovoltaïques offrent une source d'énergie renouvelable, propre, et silencieuse, ce qui les rendent particulièrement attractives pour une large gamme d'applications, allant des calculatrices de poche aux systèmes d'alimentation électrique pour des habitations ou des installations industrielles. En regroupant plusieurs cellules en panneaux ou en modules, on peut augmenter la puissance électrique générée, permettant ainsi de couvrir des besoins énergétiques plus importants.

✓ **Source de tension convertie par une inductance :**

La source de tension convertie par une inductance fait référence à un circuit où une source de tension est connectée à une inductance (bobine). L'inductance a la propriété de résister aux changements de courant dans le circuit en raison de l'énergie stockée dans son champ magnétique. Lorsqu'une source de tension est appliquée à une inductance, le courant ne change pas instantanément mais augmente progressivement, suivant une courbe exponentielle.

La relation entre la tension V , l'inductance L , et le courant I dans le temps t est donnée par la loi de Faraday pour l'induction électromagnétique, qui peut s'écrire sous la forme : $V=L \frac{di}{dt}$

Dans un circuit incluant un supercondensateur comme charge, on se retrouve face à un système du second degré. Cela signifie que le comportement du courant est décrit par une équation différentielle de second ordre, rendant le circuit moins adapté à certaines applications en raison de sa complexité. Pour générer différents types de courant électrique, nous utilisons diverses sources d'énergie. Les batteries chimiques sont capables de produire un courant continu grâce à une réaction chimique qui génère un flux constant de courant allant de la borne positive vers la borne négative. En revanche, pour obtenir un courant alternatif, qui varie en intensité et en direction, on utilise une dynamo. Ce type de générateur électrique est conçu pour produire un courant dont les caractéristiques changent avec le temps, permettant ainsi une grande variété d'applications qui nécessitent un courant alternatif plutôt qu'un courant continu.[3]

✓ **Source du courant à base d'un transistor :**

Dans l'univers de l'électronique et de la microélectronique, les sources de courant fondées sur l'utilisation des transistors jouent un rôle prépondérant. Trois types de configurations se distinguent particulièrement par leur popularité et leur efficacité : la première est celle où un transistor est régulé par un diviseur de tension, offrant ainsi une méthode précise pour ajuster le courant. La deuxième configuration implique l'usage d'une diode Zener pour piloter le

Chapitre I : Définition d'une source de courant et introduction aux circuits miroir

transistor, ce qui permet de stabiliser le courant en tirant parti de la tension de référence fixe fournie par la diode Zener. Le concept du miroir de courant [3].

✓ **Source du courant à base des circuit miroir :**

Où un transistor est contrôlé par un autre transistor, se révèle être une solution élégante pour reproduire ou « miroiter » un courant d'une partie du circuit vers une autre avec précision.

Les miroirs de courant représentent une technologie de choix dans la création de circuits intégrés, grâce à leur capacité remarquable à maintenir un courant constant avec une grande précision, surpassant ainsi les autres configurations de sources de courant qui s'appuient sur des transistors. Cette méthode assure une régulation de courant extrêmement précise, essentielle pour les applications où la stabilité et la reproductibilité du courant sont cruciales.[6]

I.3.1 Histoire du circuit miroir :

L'histoire du circuit miroir dans le domaine de l'électrotechnique remonte aux premiers jours de l'électronique moderne au début du 20^{ème} siècle. Pour comprendre pleinement l'évolution et l'importance de ce circuit, il est essentiel d'examiner son contexte historique, ses principes de fonctionnement, ses applications et ses développements ultérieurs. Le circuit miroir, également connu sous le nom de "mélangeur de courant", Son invention est généralement attribuée à l'ingénieur américain George A. Philbrick, qui l'a introduit dans les années 1950. Philbrick est largement reconnu comme l'un des pionniers dans le domaine des amplificateurs opérationnels et des circuits analogiques.

I.3.2 Synthèse chronologique des circuits miroirs :

Dans les années 1950, l'ingénieur américain George A. Philbrick introduit le circuit miroir, marquant ainsi le début de la recherche et du développement sur cette configuration électronique.

Pendant les années 1960, le circuit miroir gagne en popularité dans les applications analogiques en raison de ses propriétés précises et stables.

Chapitre I : Définition d'une source de courant et introduction aux circuits miroir

Les années 1970 voient des progrès importants dans la conception et l'implémentation du circuit miroir, notamment avec l'intégration de transistors à effet de champ (FET) dans sa configuration.

Dans les années 1980, le circuit miroir est largement adopté dans l'industrie électronique pour une variété croissante d'applications, telles que les amplificateurs de courant, les régulateurs de tension et les capteurs de courant.

Les années 1990 voient l'émergence de variantes plus complexes du circuit miroir, telles que les mélangeurs de courant différentiels, pour répondre aux exigences spécifiques des applications modernes.

Avec l'avènement de la miniaturisation des circuits intégrés et des technologies de semi-conducteurs avancées dans les années 2000, le circuit miroir devient un composant essentiel dans de nombreux produits électroniques grand public et industriels.

Au cours des années 2010, des développements continus dans les techniques de conception et les matériaux semi-conducteurs améliorent encore les performances et l'efficacité du circuit miroir.

Enfin, dans les années 2020, le circuit miroir reste un élément crucial dans la conception de nombreux systèmes électroniques modernes, témoignant de sa pertinence continue et de son adaptation aux besoins technologiques et industriels évolutifs. On cite d'autres pionniers qui ont travaillé sur ce concept tels que :

- ✓ **Behzad Razavi** : Avec l'évolution des technologies de fabrication, Behzad Razavi a également étudié à l'Université de Californie à Los Angeles la manière d'adapter les circuits miroir aux contraintes et aux opportunités offertes par les technologies CMOS modernes, telles que les circuits à faible consommation d'énergie et les circuits haute fréquence. Ses recherches ont également porté sur l'intégration des circuits miroir dans des systèmes analogiques et mixtes plus complexes, tels que les circuits de communication sans fil, les convertisseurs analogique-numérique et d'autres systèmes intégrés.[8]
- ✓ **Bob Widlar** : son idée est appelée « Une source de courant Widlar » qui est la modification du miroir de courant de base à deux transistors qui incorpore une résistance de dégénérescence de l'émetteur pour le seul transistor de sortie, ce qui permet à la source de courant de générer de faibles courants en utilisant seulement des valeurs de résistance modérée

Chapitre I : Définition d'une source de courant et introduction aux circuits miroir

Le circuit Widlar peut être utilisé avec des transistors bipolaires, des transistors MOS et même des tubes à vide. Un exemple d'application est l'amplificateur opérationnel et Widlar a utilisé le circuit comme élément dans de nombreuses conceptions

Ce circuit porte le nom de son inventeur, Bob Widlar, et a été breveté en 1967.

- ✓ **Selvakumar Rajendran, Arvind Chakrapani, Srihari Kannan and Abdul Quayum** : en 2021 en Inde y a eu une profonde recherche concernant ce dernier donc on voit que la croissance immense dans le domaine de la technologie VLSI est alimentée par sa faisabilité à réaliser des circuits analogiques dans des technologies de l'ordre du micromètre et du nanomètre. Des circuits CM de base pouvant servir de blocs de construction dans les circuits VLSI sont simulés en utilisant une technologie de 0,25 μm , BSIM et de niveau 1. De plus, divers dispositifs basés sur les CM sont examinés et comparés.[6]
- ✓ **Vin'cius Betim Guimarães, Felipe Z. Righi, Lucas Compassi-Severo, Paulo C. C. de Aguirre and Alessandro Girardi Computer Architecture and Microelectronics Group – GAMA**: Un thème dans ce concept a été traité sous-titre « Analysis of topologies of MOSFET 2 Current » en Brésil l'étude consiste à examiner les miroirs de courant NMOS, dont le but est de reproduire le courant de référence en sortie. Les topologies Simple, Cascode et Wilson sont comparées en termes de largeur de transistor et de température. Les simulations, réalisées avec Cadence Virtuoso dans un processus de 130 nm, montrent une diminution de la tension de sortie minimale avec une largeur de transistor accrue. De plus, la température a un impact significatif sur le courant de sortie dans les trois topologies, confirmant les prédictions de la littérature et les équations principales régissant les transistors MOSFET.
- ✓ **Pierre-Olivier JEANNIN Ingénieur ENSAIS** : a traité le comportement d'un MOSFET en commutation dans une thèse intitulée « le transistor MOSFET en commutation : Application aux associations série et parallèle de composants à grille isolée, le 29 mai 2001. Son but est de développer des outils de simulation capables de simuler le comportement du MOSFET dans son environnement réel
- ✓ En 2021-2022 y a eu une étude pour la première fois au sein de l'université M.M à Tizi Ouzou sur le circuit miroir au niveau du département électrotechnique traité par GUETTAS et Hellali qui a pour but réaliser une source capable d'aller jusqu'à 6 A en utilisant initialement des MOSFET IRF 740 mais ça n'a pas marché car il n'est pas suffisamment

Chapitre I : Définition d'une source de courant et introduction aux circuits miroir

puissant pour supporter une droite de charge (10A,12V),par la suite ils l'ont remplacé par un autre plus gros MOSFET 6R045 en refroidissant avec un module Peltier et une alimentation de 5v ils ont réussi à atteindre le but ciblé , les résultats obtenus ont permis d'obtenir des réponses satisfaisantes en terme de suivi de consigne et de stabilité du courant.[3]

L'objectif principal de notre projet est de concevoir et de développer une source de courant variable, offrant une excellente stabilité et capable de fournir un courant allant jusqu'à 10A. Cette source de courant, destinée à être utilisée dans le cadre des travaux pratiques par des étudiants en master, doit faciliter l'utilisation et être sécurisée. Ces caractéristiques sont essentielles pour garantir une expérience d'apprentissage enrichissante et sans risque pour les utilisateurs.[3]

Dans le processus de conception de cette source de courant, plusieurs approches techniques sont envisageables. Chaque option sera évaluée en fonction de critères clés tels que la performance, la fiabilité, l'ergonomie et la sécurité. L'accent sera mis sur la simplicité d'utilisation, permettant aux étudiants de se familiariser rapidement avec l'équipement sans nécessiter une formation technique approfondie. De même, des mesures de sécurité intégrées seront prioritaires pour prévenir tout risque d'accident durant l'utilisation.[3]

I.4 Comparaison entre les BJT et les MOSFET :

La comparaison entre les modèles BJT et MOSFET revêt une importance capitale, car elle influence directement le choix du circuit le plus adapté aux applications de puissance. Chaque technologie présente des avantages et des inconvénients inhérents, influençant des paramètres cruciaux tels que la rapidité de réponse, la capacité à dissiper la chaleur, et la simplicité d'intégration dans des systèmes plus vastes. Notre but est de sélectionner le modèle offrant la meilleure adéquation avec les exigences spécifiques des applications de puissance, notamment en termes d'efficacité et de minimisation des pertes énergétiques.

Le transistor bipolaire à jonction (BJT, pour Bipolar Junction Transistor) est un composant électronique fondamental qui sert à amplifier ou commuter des signaux électriques. Il est constitué de trois couches de matériaux semi-conducteurs dopés, typiquement du silicium ou du germanium, agencées en deux configurations possibles : NPN ou PNP.

Les transistors BJT sont omniprésents dans l'électronique moderne et servent dans une multitude d'applications, des circuits amplificateurs simples aux processeurs complexes, en

Chapitre I : Définition d'une source de courant et introduction aux circuits miroir

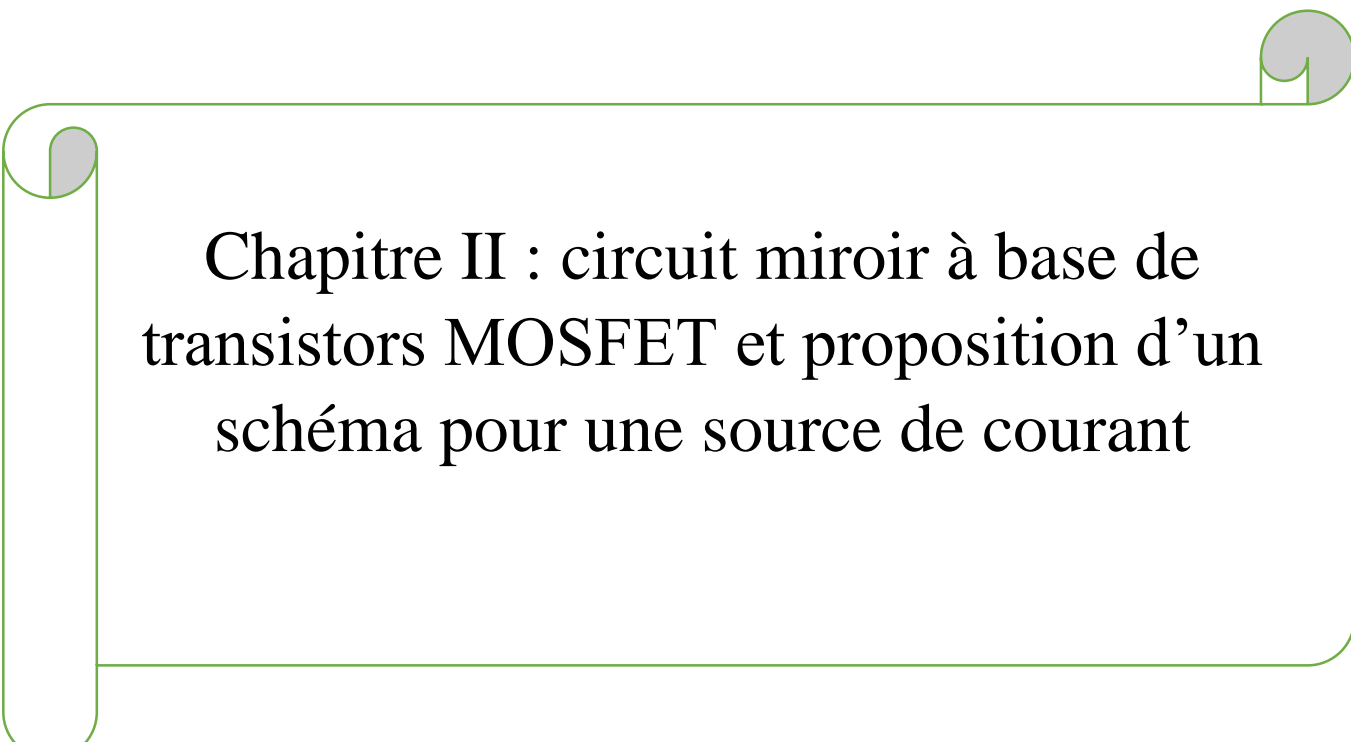
passant par les régulateurs de tension, les circuits de commutation et plus encore. Leur capacité à agir à la fois comme amplificateurs et comme interrupteurs les rend indispensables dans la conception de circuits électroniques analogiques et numériques.[4]

Bien que les transistors à effet de champ (FET) aient gagné en popularité pour certaines applications en raison de leur haute impédance d'entrée et de leur efficacité énergétique, les BJTS restent un choix privilégié pour de nombreuses applications nécessitant une amplification de puissance élevée ou une commutation rapide.

Les MOSFETS sont omniprésents dans l'électronique moderne, des ordinateurs et téléphones portables aux systèmes d'alimentation et au-delà, grâce à leur efficacité, leur faible consommation d'énergie et leur capacité à être miniaturisés, ce qui est crucial pour les circuits intégrés.[4]

I .5 Conclusion :

Jusqu'au là, on peut conclure que pour notre mémoire il est préférable d'opter pour les MOSFET dans les circuits miroir pour ce fait dans le prochain chapitre nous allons bien expliquer le fonctionnement des MOSFET et les circuits miroir de base et ensuite modifiés.



Chapitre II : circuit miroir à base de transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons bien détailler les MOSFETS et expliquer le circuit miroir basic par la suite on passe au modèle modifié proposé par Hellali et Guettas en 2022 qui a pour but réaliser une source de courant allant jusqu'à 5A.

II.2 Transistor MOSFET :

Le transistor à effet de champ à grille isolée ou métal-oxyde (MOSFET) est un type de transistor fortement utilisé en électronique (traitement de l'information), pour amplifier ou commuter des signaux électroniques, mais aussi un composant quasi incontournable dans le domaine du traitement d'énergie. Il est essentiel dans l'électronique moderne en raison de son impédance d'entrée élevée et de sa capacité à gérer de grands courants avec une perte de puissance minimale. De plus ils sont très adaptés au fonctionnement a haute, et très haute fréquence.

1. **Structure** : Un MOSFET se compose de trois bornes : la source, le drain et la grille. La grille est séparée du canal (chemin conducteur entre la source et le drain) par une mince couche isolante, généralement de dioxyde de silicium. Cette isolation permet d'avoir une impédance d'entrée élevée, ce qui signifie que le MOSFET nécessite très peu de courant d'entrée pour contrôler le flux de courant entre la source et le drain d'où le nom de grille isolée.
2. **Opération** : Le flux de courant entre la source et le drain est contrôlé par la tension appliquée entre grille et drain. Lorsqu'une tension est appliquée à la grille, elle crée un champ électrique qui attire ou repousse les porteurs de charge (électrons) dans le canal, en fonction du type de MOSFET (N-canal ou P-canal). Cette modulation de la conductivité du canal permet au MOSFET d'agir comme un commutateur ou un amplificateur.
3. **Types** : Il existe deux principaux types de MOSFET : le mode à enrichissement et le mode à appauvrissement. Les MOSFET à mode enrichissement nécessitent une tension positive appliquée à la grille pour s'allumer, tandis que les MOSFET à mode appauvrissement sont normalement allumés et nécessitent une tension négative pour s'éteindre,[1].
4. **Applications** : Les MOSFET sont largement utilisés dans diverses applications, notamment les amplificateurs de puissance, les régulateurs de tension, le contrôle des moteurs, les

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

régulateurs de commutation, et bien d'autres encore. Ils sont particulièrement appréciés dans les circuits haute fréquence et l'électronique de puissance en raison de leurs vitesses de commutation rapides et de leur faible résistance à l'état actif,[1].

II.2.1 Les composants du MOSFET :

Les MOSFET, ou transistors à effet de champ à grille isolée en métal-oxyde, se composent de divers éléments :

- ✓ **Substrat de Silicium (ou Wafer) :** C'est la base du MOSFET, généralement en silicium, sur laquelle les autres couches et structures sont construites.
- ✓ **Source et Drain :** Ce sont les deux points à travers lesquels le courant circule. Ils sont dopés pour avoir une concentration élevée de porteurs de charge (électrons pour les MOSFET à canal N, trous pour les MOSFET à canal P).
- ✓ **Canal :** Il s'agit de la zone entre la source et le drain par laquelle le courant circule. Il peut être formé par le substrat lui-même ou par une couche distincte dans le substrat, selon le type de MOSFET (N-canal ou P-canal).
- ✓ **Grille (ou Gate) :** Cette borne contrôle le flux de courant entre la source et le drain. Elle est généralement isolée du canal par une fine couche d'oxyde de silicium. L'application d'une tension à la grille crée un champ électrique, modifiant ainsi la conductivité du canal.
- ✓ **Oxyde de Grille :** C'est la couche isolante entre la grille et le canal, habituellement composée d'oxyde de silicium. Elle empêche le courant de circuler entre la grille et le canal.
- ✓ **Grille Métallique :** Cette couche conductrice forme la grille, permettant de contrôler le courant dans le canal. Elle est souvent faite de métaux tels que l'aluminium ou le cuivre.

Ces éléments interagissent de manière complexe pour permettre au MOSFET de fonctionner comme un interrupteur ou un amplificateur dans les circuits électroniques. La conception et la fabrication des MOSFET peuvent également varier, influençant ainsi leurs performances et leurs caractéristiques électriques.[1] [4]

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

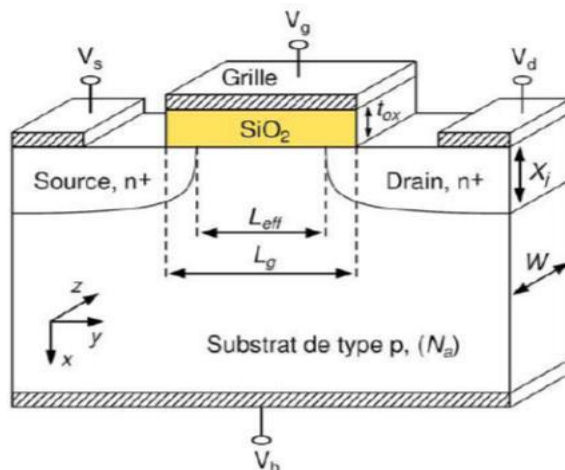


Figure II.1 : Représentation schématique d'un transistor MOSFET

II.2.2 Différence entre P-Channel et N-Channel :

P-Channel	N-Channel
<p>Un MOSFET à canal P est composé de trois principales parties : la source, le drain et la grille. Ces terminaux sont tous situés sur un substrat de silicium. Entre la source et le drain se trouve une région de canal où le courant peut circuler. La grille est isolée du canal par une couche d'oxyde de silicium.</p> <p>-Lorsqu'une tension négative est appliquée à la grille par rapport à la source, cela crée un champ électrique qui repousse les porteurs de charges positifs (trous) dans la région du canal située sous la grille. Cela diminue la conductivité du canal, ce qui signifie que le courant entre la source et le drain est réduit. En d'autres termes, le MOSFET à canal P est activé (ou conduit) lorsque la tension entre la grille et la source est faible (c'est-à-dire</p>	<p>Le MOSFET à canal N est constitué de trois parties principales : la source, le drain et la grille. Ces parties sont toutes situées sur un substrat de silicium. Entre la source et le drain se trouve une zone appelée canal, où le courant peut circuler. La grille est isolée du canal par une fine couche d'oxyde de silicium.</p> <p>-Lorsqu'une tension positive est appliquée à la grille par rapport à la source, un champ électrique est créé. Ce champ attire les porteurs de charges négatives (les électrons) dans le canal sous la grille, ce qui augmente sa conductivité. Ainsi, le courant peut circuler entre la source et le drain. En résumé, le MOSFET à canal N est activé lorsque la tension entre la grille et la source est élevée, permettant au courant</p>

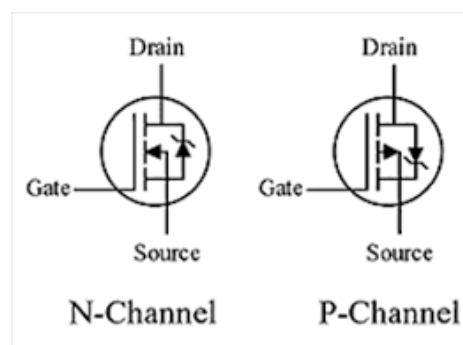
Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

<p>que la grille est à une tension plus négative par rapport à la source), et il est désactivé (ou bloque le courant) lorsque cette tension est élevée (c'est-à-dire que la grille est à une tension plus positive par rapport à la source).</p> <p>-Les MOSFETS à canal P sont utilisés dans de nombreuses applications, notamment dans les circuits logiques, les commutateurs de puissance, les régulateurs de tension, les amplificateurs audios, etc. Ils sont particulièrement utiles dans les circuits où la logique de contrôle est basée sur une tension positive, comme dans certains systèmes de logique complémentaire à métal-oxyde-semi-conducteur (CMOS).</p>	<p>de circuler. Il est désactivé lorsque cette tension est faible.</p> <p>-Ces MOSFETS sont utilisés dans une grande variété d'applications électroniques, telles que les circuits logiques, les amplificateurs, les convertisseurs de puissance et les contrôleurs de moteur. Leur capacité à commuter rapidement, leur faible consommation d'énergie et leur efficacité les rendent très utiles dans de nombreux contextes électroniques</p>
--	--

➤ Cas du MOSFET canal-N :

Le transistor MOSFET est commandé par une tension V_{GS} qui lorsqu'elle devient suffisamment grande ($v_{th} < v_{gs}$) provoque l'établissement d'un courant entre le drain et la source. Le mode de fonctionnement dépend alors de la tension V_{DS} , donc la polarisation. Le transistor Mosfet ne consomme pas d'énergie à la commande ($I_G=0$)

Le MOSFET canal-P fonctionne de la même manière avec des courants et tensions inversés



FigureII.2 : différence entre N-Channel et P-Channel

II.3 Caractéristiques statiques :

II.3.1 Définition :

La caractéristique statique d'un transistor à grille isolée fait référence à la relation entre ses paramètres principaux qui sont : la tension de grille, le courant de drain, et la tension drain source. Cette caractéristique est généralement illustrée par un réseau de courbes représentant le courant de drain (I_d) en fonction de la tension drain source, pour différentes valeurs de tension de grille.

II. 3.2 Equation du Mosfet :

La structure MIS (Métal-Isolant-Semi-conducteur) appelée aussi capacité MOS lorsque l'isolant est un oxyde (oxyde de silicium dans notre cas) est l'élément de base constitutif des transistors MOS en général et des NMOS en particulier [MAT], [SZE]. En partant d'un substrat en silicium dopé P on fait croître un oxyde thermique SiO_2 de façon contrôlée (épaisseur pouvant aller de 50 nm à 100 nm pour les dispositifs de puissance). Puis on dépose un matériau conducteur pour l'électrode de grille pouvant être de l'aluminium ou plus couramment du silicium poly cristallin dopé P+ ou N.

$$Q_{sc} = -\text{Sign}(V_s) \cdot \sqrt{2\epsilon K T N_a} \cdot \sqrt{\frac{V_s}{KT} + \exp\left(-\frac{qV_s}{KT}\right) - 1 - \exp\left(\frac{-2q\Phi_{fi}}{KT}\right) \left[\frac{qV_s}{KT} - \exp\left(\frac{qV_s}{KT}\right) + 1\right]} \quad (\text{II.1})$$

Avec

Q_{sc} quantité de charge par unité de surface ($C.cm^{-2}$)

V_s potentiel de surface (V)

N_a dopage de substrat (cm^{-3})

T température absolue (K°)

n_i concentration intrinsèque du silicium (cm^{-3}) donnée par :

$$n_i = 3.87 \cdot 10^{16} T^{1.5} \exp\left(\frac{-7018}{T}\right)$$

Φ_{Fi} Potentiel de Fermi (par rapport au potentiel de Fermi intrinsèque) (V) :

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

$$\Phi_{Fi} = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{N_a}{n_i}\right)$$

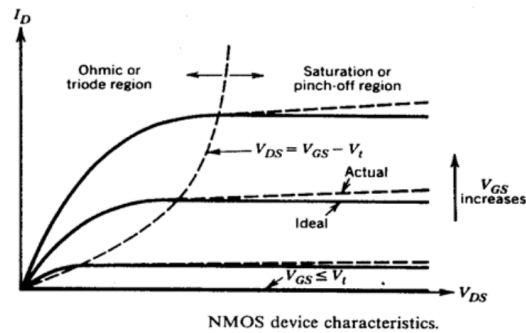


Figure II.3 : caractéristiques NMOS

Remarque : nous remarquons que la température est un paramètre important dans l'expression de la caractéristique du transistor

Dans l'hypothèse simplificatrice d'un oxyde de grille très fin (hypothèse couramment adoptée pour les TMOS de signaux), la capacité C_{ox} devient très grande. La tension de seuil et le courant de drain deviennent :

$$V_T = V_{FB} + 2\Phi_{Fi} \quad (\text{II.2})$$

$-I_D$ en régime saturé :

$$I_d = \frac{W}{L} \mu_{eff} C_{ox} \left\{ (V_G - V_T - \frac{V_d}{2}) V_d \right\} \quad (\text{II.3})$$

$-I_d$ en régime désaturation :

$$I_d = \frac{W}{2L} \mu_{eff} C_{ox} (V_G - V_T)^2 \quad (\text{II.4})$$

Ou $L_{eff} = L - \Delta L$, ΔL augmentant avec $V_d - V_{dsat}$

II.3.3 Régime linéaire :

En régime linéaire, le MOSFET, se comporte comme un amplificateur de tension ou de courant, offrant une relation linéaire entre la tension appliquée à sa grille et le courant circulant entre sa source et son drain. Ce mode de fonctionnement permet au MOSFET d'être utilisé dans une variété d'applications où une amplification précise du signal est nécessaire, telles que les amplificateurs audio, les circuits de contrôle de puissance, et les circuits de traitement de signal.

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

Pour comprendre le principe de fonctionnement en régime linéaire du MOSFET, il est essentiel de se pencher sur sa structure et ses caractéristiques électriques.

La linéarité entre la tension de grille et le courant de drain dans une plage spécifique de tensions de grille est essentielle pour l'amplification du signal. Cette linéarité signifie que de petites variations de tension de grille entraînent de petites variations du courant de drain, permettant ainsi au MOSFET d'amplifier le signal d'entrée de manière précise. Cependant, il est important de noter que le MOSFET présente une résistance de sortie non négligeable, ce qui se traduit par une chute de tension entre le drain et la source lorsque le courant circule.

Malgré cette résistance de sortie, le MOSFET peut être utilisé comme un amplificateur en appliquant le signal d'entrée à sa grille et en récupérant le signal de sortie sur sa source ou son drain. En régime linéaire (appelé aussi triode), le canal conducteur est important, le transistor se comporte entre drain et source comme une résistance dépendant de VGS. Donc on aura l'équation suivante :

Si VGS est grand devant Vth et VDS petit devant Vgs-Vth la résistance est minimal, elle est appelée RDS en ce mode de fonctionnement est utilisé lorsque le composant est utilisé comme un interrupteur mécanique commandable, c'est-à-dire en commutation. Mode de fonctionnement en tout ou rien. Cette zone est particulièrement utilisée pour les convertisseurs d'électronique de puissance [1] [5] [4]

$$\text{Si } 0 < V_{ds} < V_{gs} - V_{th} : I_{ds} = K \cdot [(V_{gs} - V_{th}) \cdot V_{ds} - \frac{V_{ds}^2}{2}] \quad (\text{II.5})$$

II.3.4 En régime saturation :

La largeur du canal est modulée par les variations (petits signaux) de Vgs. Le transistor se comporte comme un amplificateur de transconductance, $i_d = f(v_{gs})$. Ce mode de fonctionnement est utilisé en microélectronique pour la réalisation des amplificateurs opérationnels. Le paramètre gm dépend fortement de la polarisation dans ce régime on aura l'équation suivante :

$$\text{Si } 0 < V_{gs} - V_{th} < V_{ds} \quad I_{ds} = (V_{gs} - V_{th}) \cdot \frac{K}{2} \quad (\text{II.6})$$

II.4 Circuit miroir à base de MOSFET :

II.4.1 Définition :

Le circuit miroir de courant, un dispositif couramment utilisé en électronique, repose sur un arrangement de deux transistors MOSFET ou bipolaires. L'un de ces transistors agit comme une

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

source de courant de référence, tandis que l'autre est utilisé pour fournir un courant de sortie proportionnel à ce dernier. La polarisation du transistor de référence est cruciale, car elle détermine le courant de référence, souvent fixé par une tension de référence ou une résistance externe. Une fois établi, ce courant est recréé dans le circuit de sortie grâce au transistor d'accompagnement, reproduisant ainsi fidèlement le courant de référence. Ce dispositif trouve des applications dans divers domaines, notamment pour polariser les étages de sortie des amplificateurs ou pour générer des courants constants. Pour maintenir la stabilité à long terme du courant de sortie, des techniques de compensation thermique peuvent être employées, permettant ainsi d'assurer des performances précises et fiables dans une gamme d'environnements et de conditions d'exploitation. En somme, le circuit miroir de courant offre une solution simple mais efficace pour générer des courants constants et proportionnels, essentiels dans de nombreuses applications électroniques.[4] [8]

$$I_{ref} = \frac{1}{2} \mu_n \text{Cox} \left(\frac{W}{L}\right)_1 (V_{gs1} - V_{th})^2 \quad (\text{II.7})$$

$$I_{out} = \frac{1}{2} \mu_n \text{Cox} \left(\frac{W}{L}\right)_2 (V_{gs1} - V_{th})^2 \quad (\text{II.8})$$

si $V_{DS1} = V_{DS2}$ le rapport $\frac{I_S}{I_{ref}}$ devient :

$$\frac{I_S}{I_{ref}} = \left(\frac{L_1 W_2}{L_2 W_1}\right) = K_m \quad (\text{II.9})$$

K_m : gain dépendant des paramètres géométriques des MOSFET

Si les deux transistors sont parfaitement identiques, alors $K_m=1$, dans ce cas on aura :

$$\frac{I_S}{I_{ref}} = 1$$

II.4.2 Circuit miroir basic :

Un circuit miroir basique est l'un des composants fondamentaux de l'électronique analogique. Il est largement utilisé dans de nombreuses applications, telles que les amplificateurs, les filtres et les oscillateurs. Ce circuit tire son nom du fait qu'il reflète ou reproduit une partie du signal d'entrée, d'où l'analogie avec un miroir. Dans cet essai, nous explorerons en détail la structure, le fonctionnement et les applications du circuit miroir basique.

Le circuit miroir basique est généralement composé de transistors bipolaires ou de transistors à effet de champ (FET). Le transistor est l'élément actif du circuit et est configuré de

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

manière à amplifier ou à reproduire le signal d'entrée. Dans sa forme la plus simple, le circuit miroir peut être réalisé avec deux transistors identiques connectés en miroir. Ces transistors sont souvent désignés comme le transistor "source" et le transistor "miroir".

La configuration la plus courante du circuit miroir est celle utilisant des transistors bipolaires, qui peuvent être du type NPN ou PNP. Dans un circuit miroir basique utilisant des transistors bipolaires, le transistor source est souvent polarisé en mode actif tandis que le transistor miroir est polarisé en mode inverse, ce qui permet de reproduire le courant ou la tension d'entrée.

La principale caractéristique du circuit miroir basique est sa capacité à reproduire le courant ou la tension d'entrée avec une précision élevée. Cela en fait un élément clé dans de nombreuses applications où une amplification précise est nécessaire. Par exemple, dans les amplificateurs de précision, les circuits miroirs sont utilisés pour stabiliser le gain et minimiser les erreurs de distorsion.

En termes de fonctionnement, le circuit miroir basique agit essentiellement comme un amplificateur de courant ou de tension. Lorsqu'un signal d'entrée est appliqué au transistor source, il crée un courant à travers le transistor, qui est ensuite reproduit par le transistor miroir. La relation entre le courant d'entrée et le courant de sortie dépend des caractéristiques des transistors utilisés et des conditions de polarisation.

Une caractéristique importante du circuit miroir basique est sa linéarité. Idéalement, le courant ou la tension de sortie doit être une réplique précise du courant ou de la tension d'entrée, sans distorsion significative. Cependant, dans la pratique, des non-linéarités peuvent se produire en raison de divers facteurs tels que les variations de température, les imperfections des composants et les effets parasites.

Outre son utilisation dans les amplificateurs de précision, le circuit miroir basique trouve également des applications dans les filtres actifs et les oscillateurs. Dans les filtres actifs, les circuits miroirs peuvent être utilisés pour ajuster les caractéristiques de gain et de fréquence, tandis que dans les oscillateurs, ils peuvent servir à stabiliser la fréquence de sortie.[4] [6] [8]

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

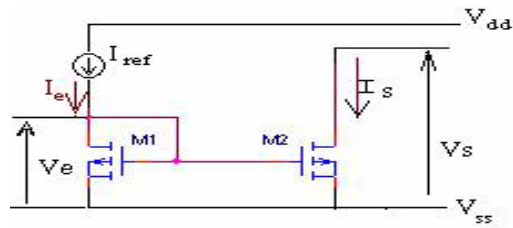


Figure II.4 : Premier modèle de miroir élémentaire en technologie MOS

Le gain en courant a la relation suivante :

$$\frac{I_s}{I_e} = \frac{W_2 L_1}{W_1 L_2}$$

$$I_{D2} = I_s = K I_{D1}$$

Pour que Le gain en courant $A_t = K \approx 1$ si les deux transistors ont la même géométrie.

L'impédance d'entrée est calculée par la relation suivante :

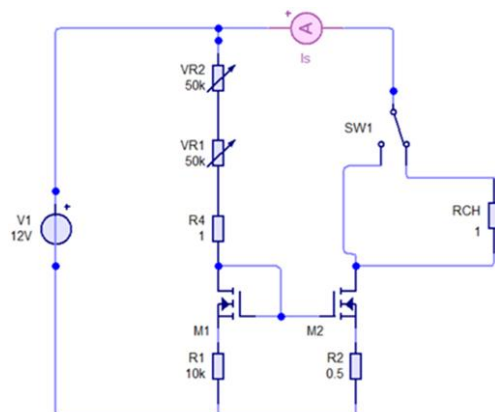
$$R_e = \frac{1}{g_m}$$

L'impédance de sortie et calculée par la relation suivante :

$$R_s = \frac{g_m}{2g_0^2}$$

II.5 Modèle proposé :

Dans les travaux réalisés au sien de notre département en 2022 par Hellali et Guetas, une modification du circuit a été proposée, cette configuration a permis d'obtenir une source de courant relativement puissante allant jusqu'à 5A avec des transistors MOSFET 6R045. Le schéma électrique ainsi utilisé est représenté sur la figure suivante :



Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

Figure II.5 : le schéma de montage final de circuit miroir amélioré

II.5.1 Mise en équations :

Si le transistor Q_1 est en régime de saturation, de plus il est connecté comme sur la figure précédente peut écrire :

Alors :

$$V_{DS1} = V_{GS} \quad (\text{II.10})$$

$$V_{DS2} \geq V_{GS} - V_{th} \quad (\text{II.11})$$

$$I_{ref} = \frac{1}{2} \mu_{01} C_{ox1} \frac{w_1}{L_1} (V_{GS} - V_{th1})^2 (1 + \lambda V_{DS1}) \quad (\text{II.12})$$

$$I_S = \frac{1}{2} \mu_{02} C_{ox2} \frac{w_2}{L_2} (V_{GS} - V_{th2})^2 (1 + \lambda V_{DS2}) \quad (\text{II.13})$$

Avec :

C_{0x1}, C_{0x2} : Capacités de l'angle mince (grille)

I_{ref} : Courant de référence

I_S : Courant de drain de transistor Q_2

W_1, L_1, W_2, L_2 : Les dimensions géométriques de deux transistors Q_1, Q_2

λ : coefficient de modulation de longueur du canal en V^{-1}

V_{th1}, V_{th2} : Les tensions de seuils de deux transistors Q_1, Q_2

V_{GS} : La tension d'entrée grille-source

V_{DS1}, V_{DS2} : Tension de sortie drain-source respectivement des transistors Q_1, Q_2

Le rapport $\frac{I_S}{I_{ref}}$ est donner par :

$$\frac{I_S}{I_{ref}} = \left(\frac{L_1 W_2}{L_2 W_1} \right) \left(\frac{V_{GS} - V_{th2}}{V_{GS} - v_{th1}} \right)^2 \left(\frac{1 + \lambda V_{DS2}}{1 + \lambda V_{DS1}} \right) \left(\frac{\mu_{02} C_{ox2}}{\mu_{01} C_{ox1}} \right) \quad (\text{II.14})$$

Pour réaliser un bon circuit miroir de courant, les transistor doivent idéalement être fabrique sur le même circuit intégré, car pour un fonctionnement optimal les paramètres physiques tels que V_{th}, C_{ox}, μ_0 doivent être identiques. Dans ce cas nous pouvons supposer les égalités suivantes :

Chapitre II : Circuit miroir à base des transistors MOSFET et proposition d'un schéma pour une source de courant

$$\mu_{01}C_{ox1} = \mu_{02}C_{ox2}, \quad V_{th1} = V_{th2}$$

$$\frac{I_S}{I_{ref}} = \left(\frac{L_1W_2}{L_2W_1}\right) \left(\frac{1+\lambda V_{DS2}}{1+\lambda V_{DS1}}\right) \quad (\text{II.15})$$

si $V_{DS1} = V_{DS2}$ le rapport $\frac{I_S}{I_{ref}}$ devient :

$$\frac{I_S}{I_{ref}} = \left(\frac{L_1W_2}{L_2W_1}\right) = K_m \quad (\text{II.16})$$

K_m : gain dépendant des paramètres géométriques des MOSFET du miroir courant

Si les deux transistors sont parfaitement identiques, alors $K_m=1$, dans ce cas on aura :

$$\frac{I_S}{I_{ref}} = 1 \quad (\text{II.17})$$

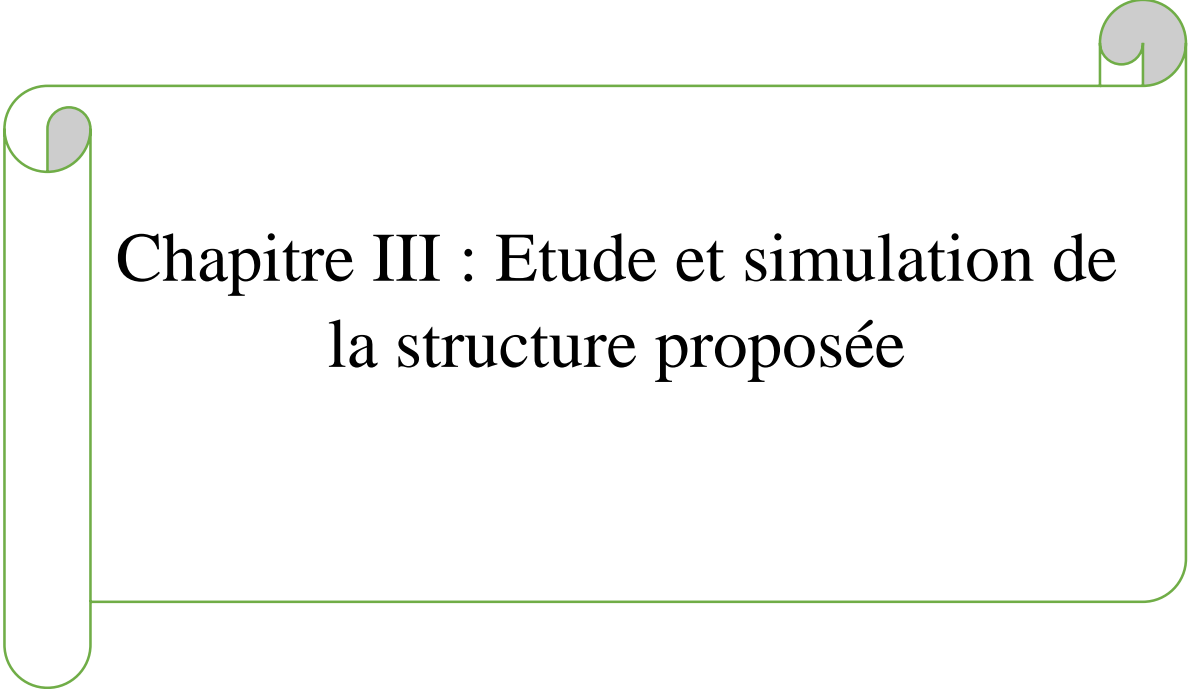
$$I_{ref} * R_1 = I_S * R_2 \quad (\text{II.18})$$

$$I_S = I_{ref} * \frac{R_1}{R_2} \quad (\text{II.19})$$

Ce groupe d'étudiants ont été confrontés à un problème d'équilibre thermique entre les deux transistors

II.6 Conclusion :

Pour mieux comprendre le fonctionnement d'un tel circuit et compléter l'étude déjà réalisée, nous allons utiliser dans le chapitre suivant les nouvelles versions du logiciel MATLAB, ou des modèles plus ou moins complexes sont disponibles, ces dernières plus détaillées tiennent compte de plusieurs paramètres, ils sont capables de reproduire le comportement quasi réel des transistors dans leurs environnements réels.

A decorative graphic of a scroll with a green border and grey rollers at the top and bottom corners. The text is centered within the scroll.

Chapitre III : Etude et simulation de la structure proposée

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons modéliser la source de courant que nous allons réaliser sous MATLAB SIMULINK/SIMSCAP, dans ces simulations nous allons utiliser des modèles de MOSFET assez fin pour pouvoir prévoir la réponse du circuit en pratique c'est-à-dire une aide pour des prises de décision dimensionnelles.

III.2 Modèle du transistor MOSFET utilisé sous MATLAB :

Sous Matlab nous on dispose de plusieurs modèles de MOSFET, la précision de ces modèles varie de l'équivalent d'un interrupteur parfait commandable à l'ouverture et la fermeture à des modèles très fins pouvant tenir compte de plusieurs paramètres c'est à dire réaliser des simulations capables de reproduire quasiment une situation réelle.

III.2.1 Solutions pour améliorer le montage proposé par Hellali et Guettas :

Pour améliorer le montage proposé par Guettas et Hellali, deux voies sont possibles :

- ✓ Nous pouvons selon l'état de l'art présenté au chapitre I changer la structure du montage en montant en parallèle ou en série des transistors supplémentaires, ou bien en augmentant la tension de la source. Ces solutions nous semblent être intéressantes.
- ✓ Ou un changement de MOSFET, le problème majeur posé par ce type de montage est l'échauffement du transistor de la branche de puissance, mais aussi le déséquilibre de température entre les deux transistors entraîne un dysfonctionnement. L'idée est de trouver un transistor ayant une meilleure surface de la caractéristique de la puissance dissipée .Il faut aussi une structure capable de mettre les deux transistors à la même température ce problème n'est pas rencontré par les structures des circuits miroir utilisées en électronique de puissance car les courants transités sont au plus de l'ordre des 300 mA avec les deux transistors sur la même puce de substrat semi-conducteur pour pouvoir proposer une amélioration nous avons opté pour des transistors disponibles sur le marché local au meilleur prix avec la meilleure surface de la caractéristique de la puissance dissipée en fonction de la température on a opté pour un nouveau MOSFET .[3] [4]

III.2.2 Caractéristiques de la puissance dissipée :

La caractéristique de la puissance dissipée d'un transistor revêt une importance capitale dans le domaine de l'électronique de puissance, où des systèmes doivent gérer des niveaux élevés de puissance tout en maintenant des performances fiables et sûres. Comprendre en détail

cette caractéristique est essentiel pour concevoir et mettre en œuvre des circuits électroniques efficaces et durables.

Pour commencer, il est crucial de définir clairement ce que représente la puissance dissipée dans le contexte d'un MOSFET. La puissance dissipée désigne la quantité de chaleur générée à l'intérieur du composant lors de son fonctionnement. Cette chaleur est principalement due aux pertes de commutation et à sa résistance interne lorsqu'il conduit du courant. En d'autres termes, lorsqu'il est activé, il y a une certaine quantité d'énergie qui est transformée en chaleur plutôt qu'en sortie utile. Cette chaleur doit être dissipée efficacement pour éviter une augmentation de la température interne du MOSFET, ce qui pourrait entraîner des défaillances du composant.

Les fabricants de composants électroniques fournissent généralement des données détaillées sur la caractéristique de la puissance dissipée dans les fiches techniques de leurs produits. Ces informations comprennent souvent des courbes de caractéristiques qui montrent la relation entre la puissance dissipée et les conditions de fonctionnement telles que le courant traversant et la tension appliquée. Étudier ces courbes est essentiel pour comprendre comment il réagit dans différentes situations et pour dimensionner correctement les circuits électroniques en conséquence.

Une autre considération importante est l'effet de la température sur la puissance dissipée. En effet, sa capacité à dissiper la chaleur dépend en grande partie de sa température interne. À mesure que la température augmente, la capacité de dissipation de sa chaleur peut diminuer, ce qui peut entraîner une augmentation de la température et éventuellement des défaillances du composant. Il est donc crucial de prendre en compte les effets de la température lors de la conception des circuits électroniques et de s'assurer qu'il est utilisé dans des plages de température sûres et adéquates. [9]

Les spécifications du MOSFET incluent généralement une puissance maximale dissipée admissible, au-delà de laquelle le composant risque d'être endommagé ou de se dégrader prématurément. Il est impératif de respecter ces limites lors de la conception du circuit pour éviter les problèmes de surchauffe et garantir des performances fiables à long terme.

Une conception thermique appropriée est également essentielle pour optimiser la dissipation de la chaleur. Cela peut impliquer l'utilisation de dissipateurs thermiques, de pistes de cuivre larges pour le transport de la chaleur et une bonne circulation d'air dans l'enceinte du

circuit. En prenant en compte ces aspects, il est possible de maximiser l'efficacité énergétique du système tout en assurant un fonctionnement fiable et sûr.

Dans certaines applications spécifiques, telles que l'électronique de puissance, des MOSFETS capables de gérer des niveaux de puissance plus élevés peuvent être nécessaires. Dans de tels cas, le choix du dernier avec une caractéristique de puissance dissipée optimale est crucial pour garantir des performances fiables du système dans des conditions de fonctionnement exigeantes.

III.2.3 : caractéristique du MOSFET 6R045 :

Après plusieurs tests les étudiants ont opté pour ce MOSFET qui leur a permis finalement une source de courant avec une parfaite stabilité allant jusqu'à presque 5A, cet élément peut supporter une dissipation de puissance max de 450W à 25°C, seulement le fonctionnement a toujours lieu dans la zone (sat/desat) ce qui provoque des pertes importantes entraînant un échauffement du composant ce qui réduit son pouvoir de dissipation à 175W à 100°C. Pour mieux comprendre la relation inversement proportionnel entre température et pouvoir de dissipation, les informations fournies par le constructeur la caractéristique de ce dernier est présentée dans la figure suivante [5]

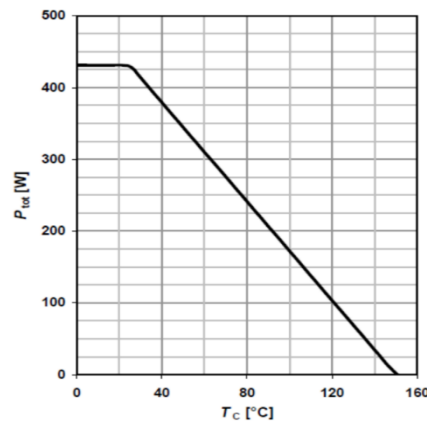


Figure III.1 : courbe de pouvoir de dissipation en fonction de température pour le MOSFET 6R045

Les contraintes qu'impose une source de courant pouvant aller jusqu'à 10A élimine l'utilisation de ce composant.

Pour satisfaire une meilleure réponse en courant, après avoir consulté plusieurs datasheet notre choix se porte sur le MOSFET HY5012, dont la caractéristique de pouvoir de dissipation est donnée sur cette figure [5]

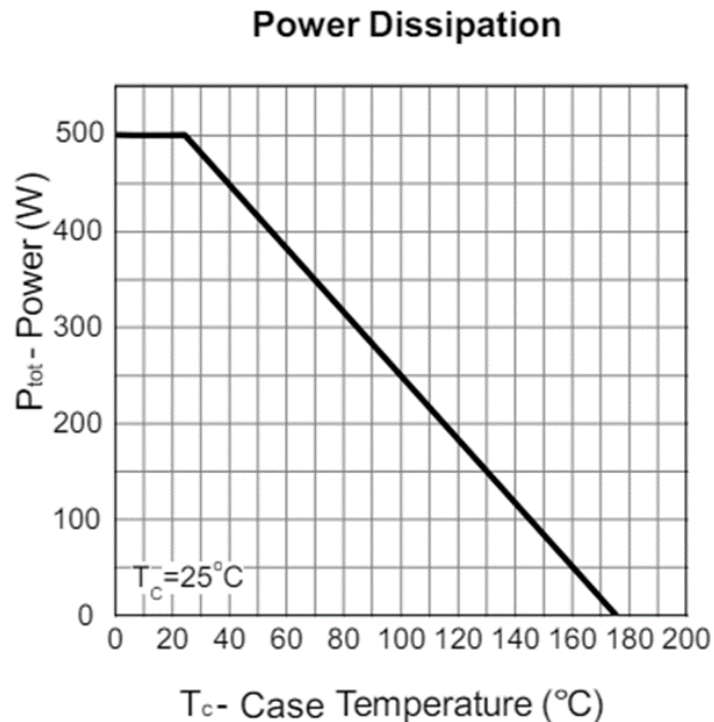


Figure III.2 : Pouvoir de dissipation en fonction de température du MOSFET HY5012

III.3 Simulation :

Pour mieux comprendre le montage que nous proposons, des programmes de simulation sous MATLAB ont été réalisés les paramètres des transistors MOSFET sont fortement liés à la variation thermique. Une étude du montage sur la base des lois de Kirrechoff est quasi impossible. Les programmes élaborés vont servir dans un premier temps à une étude dimensionnelle ans un second temps à la caractérisation de la source pour différentes températures ensuite un programme tenant compte d'un environnement plus réel de la source est réalisé pour chercher des solutions pratiques à fin d'améliorer la fiabilité de cette source.

Il faut signaler que pour réaliser tous ces objectifs, un modèle presque réel du MOSFET est nécessaire avant de commencer la programmation une compréhension des modèles implantés dans Matlab est indispensable.

Sous MATLAB SIMULINK nous avons 3 modèles de MOSFET selon la précision, on peut utiliser le Spice modèle, simscape, powerelectronic [11].

III.3.1: Threshold Based :

Représente le dispositif à l'aide de l'équation de Shichman-Hodges (basée sur la tension de seuil) et ne simule pas les effets thermiques. Il s'agit du modèle par défaut, l'option du bloc

basée sur le seuil utilise les équations de Shichman et Hodges pour un transistor à effet de champ à grille isolée afin de représenter un MOSFET à canal N. Le courant drain-source dépend de la région de fonctionnement. []

Dans la région ($V_{GS} < V_{th}$), I_{DS} :

$$I_{DS}=0 \quad \text{(III.1)}$$

- Dans la région linéaire ($0 < V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$), I_{DS} :

$$I_{DS}=K((V_{GS}-V_{th}) (V_{DS}-V_{DS}^2/2) (1+\lambda|V_{DS}|) \quad \text{(III.2)}$$

- Dans la région de saturation ($0 < V_{GS} - V_{th} < V_{DS}$), I_{DS} :

$$I_{DS}=(K/2) (V_{GS}-V_{th})^2 (1+\lambda|V_{DS}|) \quad \text{(III.3)}$$

Le bloc modélise les capacités soit par des valeurs de capacité fixes, soit par des valeurs tabulées en fonction de la tension drain-source. Dans les deux cas, on peut soit spécifier directement les valeurs de capacité grille-source et grille-drain, soit laisser le bloc les dériver à partir des valeurs de capacité d'entrée et de transfert inverse. Par conséquent, les options de paramétrage pour le modèle de charge sur le paramètre Capacitance sont les suivantes :

- Spécifier une capacité d'entrée, de transfert inverse et de sortie fixe
- Fournir des valeurs de paramètres fixes à partir de la fiche technique et laisser le bloc convertir les valeurs de capacité d'entrée et de transfert inverse en valeurs de capacité, comme décrit ci-dessous. Il s'agit de la méthode par défaut.
- Spécifier une capacité fixe de grille-source, grille-drain et drain-source
- Fournir directement des valeurs fixes pour les paramètres de capacité.

Le paramètre Capacitance permet de spécifier la capacité du drain de grille, C_{gd} , la capacité de la source de grille, C_{gs} , la capacité de la source de grille et C_{gd} .

C_{gd} , la capacité porte-source, C_{gs} , et la capacité drain-source,

C_{ds} (fixe ou tabulée) directement. Sinon, le bloc les déduit de la capacité d'entrée, C_{iss} , de la capacité de transfert inverse, C_{rss} , et de la capacité de sortie, C_{oss} . Ces deux méthodes de paramétrage sont liées comme suit :

$$\diamond C_{GD} = C_{rss}$$

$$\diamond C_{GS} = C_{iss} - C_{rss}$$

$$\diamond C_{DS} = C_{oss} - C_{rss}$$

Pour le paramétrage des quatre bornes, la capacité d'entrée, C_{iss} , la capacité de transfert inverse, C_{rss} , et la capacité de sortie, C_{oss} de transfert inverse, C_{rss} , et la capacité de sortie, C_{oss} , sont obtenues à l'aide de ces équations :

$$\diamond C_{GS} + C_{GB} = C_{iss} - C_{rss}$$

$$\diamond C_{DB} = C_{oss} - C_{rss}$$

III.3.2: Threshold-based with thermal:

Représente la tension de seuil avec port thermique exposé, les résultats de simulation du modèle statique dépendant de la température impliquant les caractéristiques de sortie, les caractéristiques de transfert, la tension de seuil et la résistance à l'état passant ont pu simuler correctement les valeurs mesurées réelles il existe deux options différentes pour définir la température du transistor T.

- Le bloc utilise une température indépendante de la température du circuit lorsque le paramètre Model température dépendance using dans les Temperature settings du bloc SPICE NMOS est réglé sur Fixed température. Pour ce modèle, le bloc fixe T à TFIXED.Température du dispositif si le circuit comporte un bloc paramètres d'environnement, TC est égal à la valeur qu'on spécifie pour le paramètre température dans les paramètres SPICE du bloc paramètres d'environnement. La valeur par défaut du paramètre Température est 300,15 K.[11]

III.4 Résultats de simulation :

Comme nous l'avons déjà signalé, la température est un élément auquel il faut accorder une importance dans notre étude, pour mettre en évidence les effets de cette grandeur sur les performances de réglage e notre source de courant des programmes de simulation SOUS MATLAB SIMULINK ont été réalisés

Le premier programme est fait avec le modèle **threshold with thermal**, ou la température est introduite comme un paramètre, ensuite nous analysons les performances de la source dans différents cas de figure.

Le schéma de simulation est représenté sur la figure suivante :

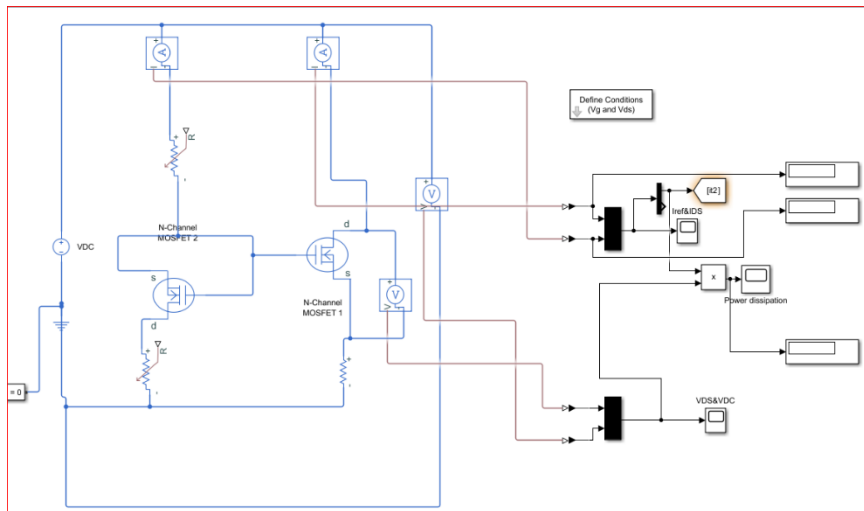


Figure III.3 : Schéma de simulation avec les blocs SIMSCAP de MATLAB

Pour bien dimensionner notre circuit, c'est à dire bien choisir les résistances de ce circuit, après un dimensionnement approximatif, ce modèle nous permet de mieux équilibrer nos résistances, pour se faire plusieurs tests avec différentes températures seront exécuter. Cela nous permettra de caractériser notre source, et surtout avoir sa caractéristique de réglage et appréhender l'effet de la température sur cette dernière.

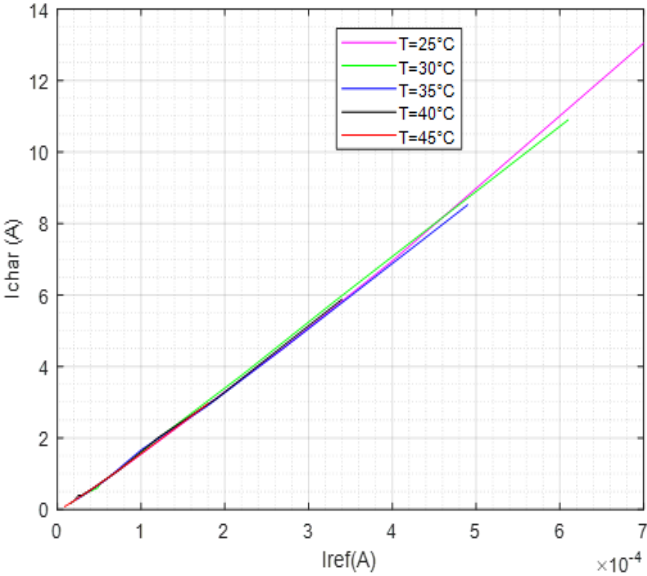


Figure III. 4 : Caractéristiques de réglage ($I_C=f(I_{ref})$)

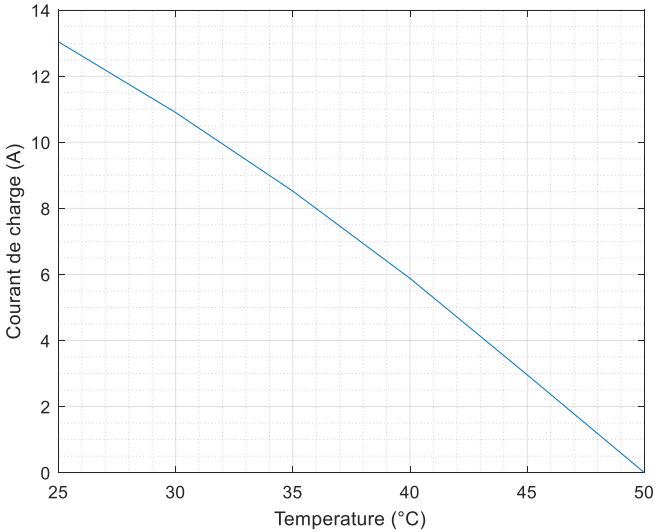


Figure III.5 : Caractéristiques du courant de charge température de jonction

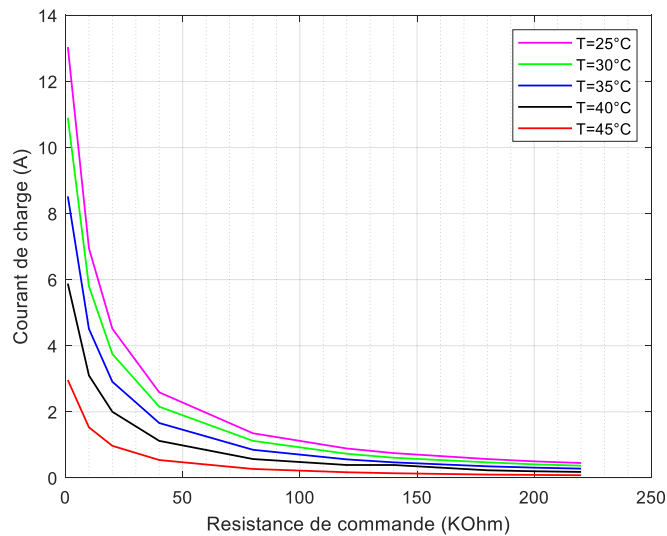


Figure III.6 : Caractéristiques de I_c en fonction de R_{com}

III.5 Interprétation :

Les résultats de simulation que nous présentons ont été réalisés sous environnement MTALAB SIMSCAP, plusieurs simulations ont été effectuées en imposant la température de jonction des transistors, ensuite on fait varier la résistance de contrôle pour observer la caractéristique de réglage I_c / I_{ref} de la source de courant.

Sur la (**figure III.4**) nous constatons que le courant de charge I_c varie d'une façon linéaire avec une pente de $1.8615e+04$ comme prévu par la théorie, qui dit que si les deux transistors sont à la même température à quel que soit sa valeur, la caractéristique est linéaire. C'est le cas des circuits utilisés en électronique analogique puisqu'ils sont montés souvent sur le même substrat de semi-conducteur.

Donc cette source constitue un amplificateur de gain quasi infini. Cela nous permet un fonctionnement avec un meilleur rendement du moment que les pertes de la branche de commande sont quasiment nulles. Celle de la branche de puissance pour le point le plus élevé sont de 71W pour un courant de 13A et une température de 25°C.

Sur la (**figure III.7**) suivant le tracé de la caractéristique pour la température 25°C on l'a repris avec une interpolation pour une meilleure visibilité et caractérisation de la source.

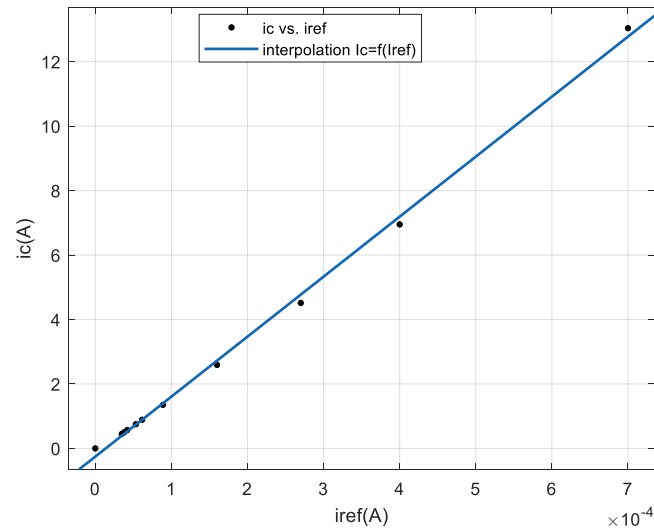


Figure III.7 : Caractéristique de la source pour T=25°C

L'information que véhicule les résultats représentés sur la (**figure III.5**) sont d'une importance capitale, puisqu'ils nous ont permis de comprendre les difficultés rencontrées par Hellali et Guettas. On aperçoit qu'en augmentant les températures de jonction des deux transistors, le courant maximal que peut délivrer cette source diminue d'une façon linéaire, jusqu'à atteindre une valeur presque nulle pour une température de seulement 50°C.

Sur notre réalisation expérimentale nous avons opté pour utiliser un potentiomètre pour le réglage de cette source, donc il est nécessaire de comprendre comment évolue de courant de charge en fonction de la valeur de cette résistance, pour différentes températures. Les réponses sont représentées sur la (**figure III.6**)

Dans le paragraphe précédent les températures des deux transistors étaient identiques de plus les deux transistors ont les mêmes références donc technologiquement ils sont censés être identiques.

En vertu de la relation (**II.15**) que nous rappelons, la caractéristique de réglage est linéaire

$$\frac{I_S}{I_{ref}} = \left(\frac{L_1 W_2}{L_2 W_1} \right) \left(\frac{1 + \lambda V_{DS2}}{1 + \lambda V_{DS1}} \right)$$

Dans le cas où les transistors sont dans des champs de température différents, les dimensions géométriques (W,L) sont dépendants de la température

Pour appréhender le comportement de la source de tension vis-à-vis de cette disparité de tension le programme précédent est repris en imposant des températures différentes aux deux transistors.

La température du transistor de commande est gardée à 25° puisqu'il est dimensionné pour être transité par un courant au plus de 1,2 mA donc ce transistor n'est pas impacté d'un point de vue thermique contrairement à celui de la partie puissance qui est dimensionné pour laisser transiter des courants pouvant dépasser les 15A, par là des températures conséquentes.

Pour rappel à 25°C et un courant de 13A il dissipe une puissance de 71W, forcément sa température augmente le tableau suivant nous donne les résultats de simulations pour différents cas de figures

Tableau (III.1) évolution des courants pour une température de 30°C

R(Kohms)	Iref(A)	Ic(A)	P(W)
1	0.00073	10.68	71.13
10	0.0004	4.64	44.9
20	0.00027	2.24	24.4
40	0.00016	0.43	5.088
80	8.89 e - 5	1.2 e -11	1.44 e -10
120	6.15 e -5	1.2 e -11	1.44 e -10

Tableau (III.2) évolution des courants pour une température de 35°C

R(Kohms)	Iref(A)	Ic(A)	P(W)
1	0.00073	8.06	64.28
10	0.0004	2.11	23.12
20	0.00027	1.2 e -11	1.44 e -10
40	0.00016	1.2 e -11	1.44 e -10

Tableau (III.3) évolution des courants pour une température de 40°C

R(Kohms)	Iref(A)	Ic(A)	P(W)
1	0.00073	5.18	48.71
10	0.0004	1.2 e -11	1.44 e -10
20	0.00027	1.2 e -11	1.44 e -10
220	3.47 e -5	1.2e -11	1.4 e -10

Tableau (III.4) évolution des courants pour une température de 45°C

R(Kohms)	Iref(A)	Ic(A)	P(W)
1	0.00073	1.99	21.86

10	0.0004	1.2 e-11	1.44 e -10
20	0.00027	1.2 e-11	1.44 e -10
220	3.809 e -5	1.2 e -11	1.44 e -10

Remarque : sur la base des résultats présentés sur les tableaux précédents, nous devons accorder une très grande précaution pour essayer de garder les deux transistors à la même température, mais aussi faire en sorte à ce que la température du transistor du coté puissance reste au voisinage de la température ambiante de 25°C.

III.6 Conclusion :

L'étude effectuée dans ce chapitre nous permet d'aborder la réalisation expérimentale avec beaucoup d'informations concernant les précautions à prendre principalement par rapport au système de refroidissement qui fera l'objet du chapitre suivant.

Chapitre IV : Mise e œuvre de la réalisation finale

IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons mettre en œuvre sur le plans pratique l'ensemble des informations rassemblées au niveau des chapitres précédents. Ensuite des tests seront réalisés pour vérifier que cette source satisfait à l'ensemble des caractéristiques arrêtées au niveau du cahier des charges initialement fixes au niveau de l'introduction.

IV.2 Circuit élémentaire amélioré :

Dans le circuit amélioré réalisé en fonction des observations faite dans les chapitres précédents, nous avons opté pour une réduction maximale du courant dans la branche de commande, c'est-à-dire le transistor est traversé par un très faible courant, de l'ordre du microampère, dans notre cas inférieur à $1.2\mu\text{A}$.

Pour éviter l'instabilité que peut provoquer la différence de température entre les deux transistors une attention particulière doit être accordée à la disposition des transistors l'un par rapport à l'autre mais aussi et surtout au système de refroidissement. La disposition proposée en 2022 est celle-ci :

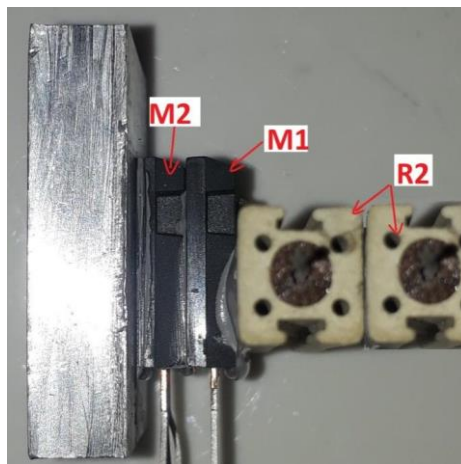


Figure IV.1 : miroir élémentaire amélioré et stabilisé à base des MOSFET 6R045

Cette disposition leur a permis d'avoir un gradient de température réduit, toutefois le dissipateur utilisé n'était pas aussi optimum pour garantir une température pour le transistor M1 très voisine de celle de M2. Mais cette approche était concluante

IV.3 Système de refroidissement adopté :

Pour éviter la dégradation des performances de notre circuit voire la destruction des semi- conducteurs mais aussi pour assurer une stabilité de la commande de la source (c'est-à-dire du gain K_m), le circuit proposé pour notre source de courant doit être refroidie.

Ce refroidissement sera assuré par deux dissipateurs, la photo du principal est donnée sur la (**figure IV.2**), il est muni de deux radiateurs d'un ventilateur et de deux barres de cuivre qui lient les deux radiateurs comme illustré ci -dessus.

Ce dissipateur refroidie le transistor de puissance, le souci est que sa température de jonction n'est pas connue, comme on l'a vu dans le chapitre précédent une disparité de température entre les deux transistors entraine une perte des performances de la source, donc nous allons monter le transistor de commande en sandwich entre le transistor principal et les résistances de 0.5Ohm qui limitent le courant de la branche de puissance. Cette résistance est constituée de deux résistances de puissance de 10Ohm chacune capable de dissiper 10W, par conséquent elles vont chauffer puisqu'elles seront parcourues par des courants importants.

Pour éviter un échauffement excessif du transistor de commande par ces résistances un second dissipateur pour les refroidir et garder ainsi un équilibre thermique entre les deux transistors.

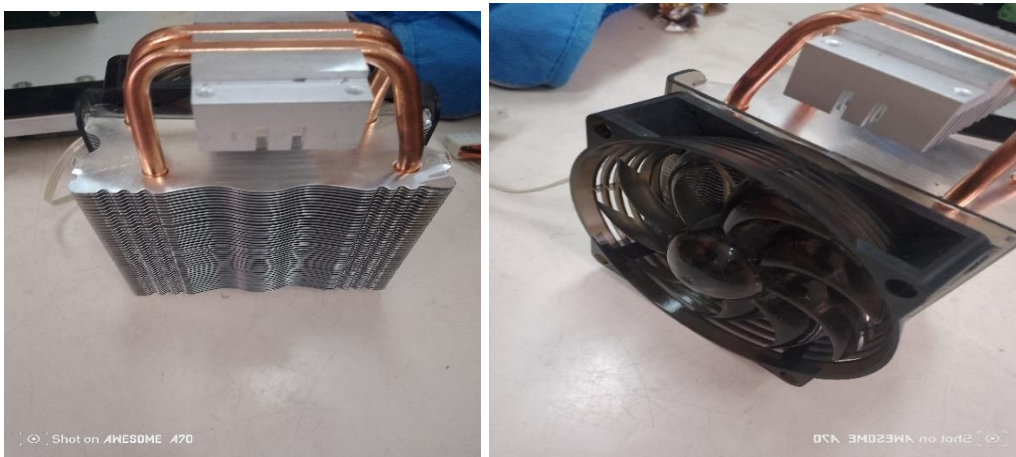


Figure IV.2 :D dissipateur principal



Figure IV.3 : Dissipateur pour la résistance

IV.4 Montage pratique :

Avant de passer à la réalisation pratique finale et au test du montage, nous avons refait la simulation du dispositif avec les mêmes paramètres que nous avons synthétisé au chapitre précédent. Le schéma ainsi réalisé sur MATLAB est schématisé sur la **figure IV.3** suivante :

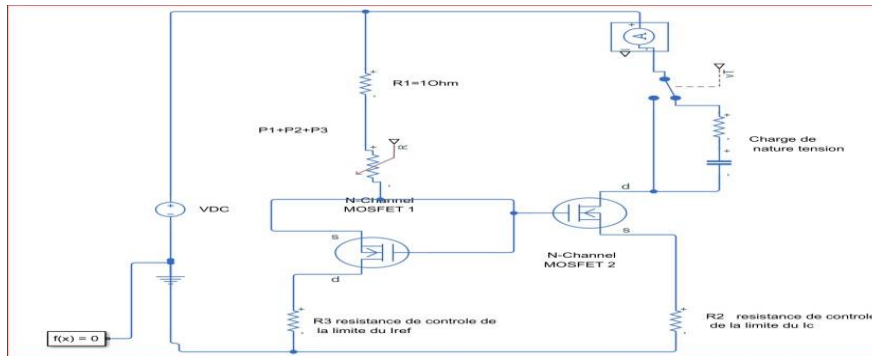


Figure IV.3 :Le schéma de montage final

✓ Composants utilisés :

R1 : résistance de 1Ω pour visualiser le courant I_{ref}

P1, P2 et P3 : trois potentiomètres (résistances variables de $63K\Omega$ pour faire varier le courant de référence)

R2, R3 : résistance de réglage du gain K_r avec ($R_2 = 0.5\Omega$ et $R_3 = 10K\Omega$), R1 sert aussi à limiter la valeur maximale du courant de référence

SW1 : Interrupteur permettant de switcher le courant du court-circuit pour le réglage, vers la charge en respectant les règles de connexion de source de courant (à savoir qu'une source de courant ne doit jamais être ouverte brusquement, mais on peut la mettre en court-circuit).



Photo du dispositif principal



Photo de la disposition des transistors sur le dissipateur

Figure IV.4 : Vue globale du dispositif

- Les figures précédentes nous montrent la disposition des éléments du montage les uns par rapport aux autres. Le transistor de charge est monté de telle sorte à avoir un maximum de contact avec les barres de cuivre du dissipateur
- L'intérêt de ce dissipateur réside dans la conductivité thermique du cuivre qui n'est de $391 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, alors qu'elle est de $185 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ pour l'aluminium soit deux fois plus importante. Cette caractéristique permet une évacuation thermique très rapide de la chaleur du transistor qui est très vite évacuée grâce à la forme du dissipateur plus la puissance du ventilateur.
- Dans le souci d'éviter un différentiel de température qui sera provoqué par les deux résistances de puissances sur le transistor de commande, un second dissipateur est utilisé pour les refroidir et il est monté sur la **figure IV.5** et la figure précédente **IV.4**

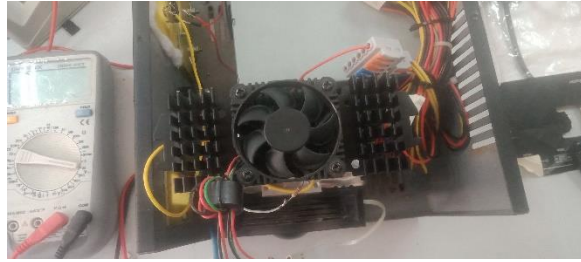


Figure IV.5: montage vu du haut du second dissipateur

- Les améliorations qu'on a ramenées ont permis d'augmenter la capacité en courant de charge de cette source pouvant atteindre largement les 10A, ces améliorations ont consisté au changement des circuits de refroidissement plus performants mais aussi au choix de transistor ayant des caractéristiques plus larges.
- Des tests pour mieux caractériser notre source des testes supplémentaires seront nécessaires par la suite.

IV.5 Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons mis en œuvre un prototype finale expérimental, résultant des observations des chapitres précédents.

Les résultats ainsi obtenus nous on permit d'obtenir des résultats satisfaisants en termes de suivi de consigne et de stabilité du courant.

Conclusion générale

Le but de notre travail est d'étudier et de réaliser une source de courant basée sur le principe du circuit miroir, en nous appuyant sur les travaux de 2022 pour guider notre conception. Pour atteindre cet objectif, nous avons utilisé MATLAB SIMULINK (SIMSCAPE) pour simuler et analyser notre conception. Cette étape de simulation s'est révélée cruciale pour comprendre l'impact de la température de jonction sur les performances de la source de courant. En effet, la température de jonction joue un rôle déterminant dans les caractéristiques de conduction des transistors, et par conséquent, dans la stabilité et la précision du courant généré par notre source.

Grâce à la simulation, nous avons pu quantifier les effets thermiques de manière précise. Nous avons observé comment la température de jonction évolue en fonction du courant et des conditions environnementales, ce qui nous a permis de détecter les points critiques où les performances du circuit pourraient se dégrader. Cette compréhension approfondie des effets thermiques nous a conduits à améliorer le système de refroidissement initialement proposé.

Pour améliorer le refroidissement, nous avons exploré plusieurs alternatives. Nous avons testé des dissipateurs thermiques plus efficaces, optimisé le flux d'air autour des composants, et utilisé des matériaux à haute conductivité thermique. Ces améliorations ont permis de réduire significativement la température de jonction, ce qui a amélioré la fiabilité et la performance de la source de courant.

Un autre aspect crucial de notre projet était le choix du transistor le plus adapté. Les transistors diffèrent par leurs caractéristiques de gain, de fréquence, et de comportement thermique. Les simulations nous ont aidés à comparer différentes options et à sélectionner le transistor offrant les meilleures performances globales. Nous avons privilégié des transistors présentant une stabilité thermique élevée et une réponse en fréquence adéquate. Ce choix a été essentiel pour garantir une source de courant stable et précise.

Les résultats obtenus grâce à ces améliorations et à cette sélection rigoureuse du transistor ont permis d'optimiser la stabilité et la précision de notre source de courant. Cela démontre l'importance de la simulation dans la conception de circuits électroniques. La simulation nous a permis de tester différentes configurations et de valider nos choix sans avoir à réaliser de nombreux prototypes physiques, ce qui est à la fois économique et efficace.

En outre, notre travail met en lumière la nécessité d'une compréhension approfondie des effets thermiques dans les dispositifs à semi-conducteurs. Les effets thermiques peuvent

Conclusion générale

influencer de manière significative les performances des circuits électroniques, et leur prise en compte est essentielle pour concevoir des systèmes fiables et performants.

En somme, notre étude contribue à l'avancement des techniques de conception de sources de courant. Nous avons montré comment l'utilisation de simulations avancées peut aider à optimiser les performances d'un circuit en tenant compte des effets thermiques. Les méthodes et les solutions que nous avons développées peuvent être appliquées à d'autres projets et à divers domaines de l'électronique, offrant des perspectives pour des applications futures.

- [1] *M^{elle}* Keddache Zina, *M^{elle}* Mennas Souad « (Mémoire de Fin d'étude) simulation des caractéristiques électriques d'un transistor MOSFET sous MATLAB SIMULINK
- [2] KAAT Lydia, HAMDI Yasmina « (Mémoire de Fin d'étude) Contribution à la conception d'un CNA en technologie CMOS 0.13µm. UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA (BEJAIA) » 2019/2020
- [3] Guettas Mohammed, Hellali Smail «(Mémoire de fin d'étude) Réalisation d'une source de courant variable
- [4] Linden T.Harrison , « Current Sources et Voltage References » 2005 , Elsevier
- [5] Datasheet MOSFET (HY 1502) (6R045)
- [6] Selvakumar Rajendran, Arvind Chakrapani, Srihari Kannan and Abdul Quaiyum Ansari , « A research Perspective on CMOS Current Mirror Circuits : Configurations and Techniques ,2021
- [7] Munir A.AL-Absi « A novel Highly Accurate Current Mirror »
- [8] Razavi, Behzad « Design of Analog CMOS Integrated Circuits ,2nd Ed.pp.138-146
- [9]<https://www.kartable.fr/ressources/physique-chimie/methode/calculer-la-puissance-recue-et-dissipee-par-un-conducteur-ohmique/20723>.
- [10] Robert A. Pease Troubleshooting Analog Circuits National Semi-conducteurs, édition Nwnes 1993.
- [11] Documentation MATLAB.

Résumé

Dans ce mémoire nous avons traité d'un thème pratique, qui a pour but la réalisation d'une source de courant réglable pouvant atteindre au moins une dizaine d'Ampères, tout en tenant compte des paramètres : fiabilité, stabilité, sécurité et rapport qualité prix. Cette source est dédiée aux travaux pratiques de l'unité énergie renouvelable au sein du département d'électrotechnique de l'université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou

Nous avons démarré notre travail avec l'aide d'un travail déjà fait en 2021/2022 par le binôme GUETTAS et HELLALI sous la direction de Melle KACHENOURA. Le but de notre travail réside dans l'amélioration du projet déjà réalisé. Partons de la structure existante, nous avons opté pour le changement du modèle des transistors, par conséquent de tous le système. Les surtout le système de refroidissement. De plus un modèle de simulation fin, en utilisant la bibliothèque de MATLAB 2023 au lieu de WIZARD utilisé précédemment pour les résultats de simulation, et réaliser un modèle fiable et très utile dans notre réalisation expérimentale.

Abstract :

In this dissertation, we've addressed a practical topic, the aim of which is to design an adjustable current source capable of delivering at least ten Amperes, while taking into account the following parameters: reliability, stability, safety and value for money. This source is dedicated to the practical work of the renewable energy unit within the electrical engineering department of the Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou.

We started our work with the help of work already done in 2021/2022 by the GUETTAS and HELLALI pair under the supervision of Melle KACHENOURA. The aim of our work is to improve the project already completed. Starting with the existing structure, we opted to change the transistor model, and consequently the entire system. Especially the cooling system. In addition, a fine simulation model, using the MATLAB 2023 library instead of WIZARD used previously for simulation results, and achieve a reliable and very useful model in our experimental realization.

