

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT



كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الإلكترونيات

DEPARTEMENT ELECTROTECHNIQUE

Mémoire de Master

Réalisé par :Belachi Oussama

Chelali Mohammed Marouane

Domaine : Sciences et Technologies
Filière : Électrotechnique
Option : Commandes électrique

THEME

Etude de l'asservissement d'un panneau photovoltaïque

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
KOUZI Katia	PRF	Présidente
BIRAME M'hamed	MCA	Examineur
HADJADJ Merouane	MCB	Promoteur
BIRANE Mouhoub	MCA	Co-promoteur

Année Universitaire 2021-2022

REMERCIEMENTS

Je remercie en premier lieu ALLAH le tout puissant de avoir nous donner le courage et la volonté pour terminer ce modeste travail.

*Je remercie mes encadreurs monsieur *Hadjadj merouane et Birane mouhoub* pour les efforts qu'ils ont déployés, pour nous conseiller, et nous aider, afin de réaliser ce travail.
Et a tous les enseignants qui nous ont enseignés.*

UN GRAND MERCI.

Dédicace

Nous consacrons ce modeste travail à :

Mes chers parents

Mes familles

Tous mes amis

*Tous les enseignants qui m'ont aidé de proche ou de
loin.*

Sommaire

Remerciements	
Dédicace	
Introduction générale	1

Chapitre I

Généralité sur l'énergie solaire et système photovoltaïque

I.1. Introduction.....	4
I.2. Energie solaire photovoltaïque.....	5
I.3. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque.....	5
I.4. Types de rayonnement solaire.....	5
I.5. La conversion de la lumière en électricité.....	6
I.6. Les notions nécessaires pour la conversion photovoltaïque.....	6
• Les semi-conducteurs	6
A) Un conducteur.....	7
B) Isolants	7
I.7. La cellule photovoltaïque.....	7
I.7.1.Définition.....	7
I.7.2. Les différents types des cellules photovoltaïques.....	7
I.7.3 Modélisation de la cellule Photovoltaïque.....	8
I.7.4. La puissance maximale.....	9
I.7.5 Les tailles de la cellule photovoltaïque.....	9
I.7.6. Les conditions STC (standard test condition) de la cellule PV.....	10
I.8. Paramètres caractéristiques d'un panneau photovoltaïque.....	10
I.9 Rendement de conversion.....	11
I.10. Types d'installation de panneaux solaires.....	11
I.11. Trajectoire apparente du soleil	13
I.12. Conclusion	14

Chapitre II**Notions de bases de L'asservissement**

II.1 Introduction	16
II.2 Système asservi.....	17
II.2.1 Définition	17
II.2.2 Schéma fonctionnel d'un système asservi.....	17
II.2.3 Performances du système d'asservissement.....	18
II.2.3.1 La stabilité.....	18
II.2.3.2 La précision.....	19
II.2.3.2.1 L'écart statique (ϵ_s)	19
II.2.3.2.2 L'écart dynamique (ϵ_v)	20
II.2.3.3 La rapidité.....	20
II.3.1 Fonction de transfert.....	21
II.3.1.1 Définition.....	21
II.3.1.2 Fonction de transfert en boucle ouverte.....	22
II.3.1.3 Fonction de transfert en boucle fermée.....	22
II.4 Systèmes linéaires.....	22
II.4.1 Représentation d'un Système linéaire par une équation différentielle.....	22
II.4.2 Transformée de Laplace.....	23
II.4.2.1 Définition de la transformé de Laplace	23
II.4.2.2 Principales propriétés de la transformée de Laplace	23
II.4.3 Passage d'une équation différentielle à une fonction de transfert.....	24
II.5 Analyse des systèmes linéaires.	26
II.5.1 Introduction.....	26
II.5.2 Analyse harmonique	26
II.5.2.1. Diagramme de Bode.....	26
A) La courbe du gain.....	26
B) La courbe de phase.....	26
II.5.2.2. Diagramme de Nyquist.....	27

II.5.2.3. Diagramme de Black.....	27
II.5.3. Analyse temporelle.....	28
II.5.3.1. L'échelon -unitaire $u(t)$	28
II.5.3.2 La rampe unité $r(t)$	28
II.5.3.3. L'impulsion de Dirac.....	29
II.5.4. Stabilité des systèmes	29
II.5.4.1 Conditions de stabilité	29
II.5.4.2. Critère de stabilité	30
II.5.4.2.1 Critère algébrique (Routh)	30
II.6 conclusion	32

Chapitre III

Asservissement d'un servomécanisme de position

III.1. Introduction	34
III.2. Paramètres de position	34
III.3. Les coordonnées géographiques de la terre	35
A. longitude.....	35
B. latitude	35
III.4. Les coordonnées horaire	35
A. La déclinaison solaire.....	35
B. Angle horaire(w)	36
III.5 Description de la structure de suiveur solaire	36
III.6. L'asservissement d'un servomécanisme de position	37
III.6.1 Représentation de système servomécanisme	37
III.6.2 les équations de système.....	38
III.6.3 Les équations électrique	38
III.6.4 les équations mécaniques	39
III.6.5 Fonction de transfert de système	40
III.6.6 les valeurs numériques	42
III.6.7 L'équation caractéristique de système	42
III.6.8 Critère de stabilité de Routh Hurwitz	42
III.6.9 La condition de la stabilité	42

III.6.10 Tableau de Routh pour plusieurs valeurs de k_a	42
III.7 Conclusion	44

Chapitre IV

Simulation et Résultats

IV.1 Introduction	46
IV.1.1 Description du système	46
IV.2 Commande de maximisation de puissance.....	46
IV.3 La Commande (MPPT)	47
IV.4 Partie simulation (matlab_simulink)	48
IV.4.1 Test de schéma fonctionnel de position	48
IV.4.2 Simulation globale de système servomécanisme de position	49
IV.4.3 Effet de variation d'éclairement et de température	50
IV.5 Résultats graphiques d'asservissement	53
IV.5.1 La position des pôles	53
IV.5.2 La réponse indicielle	53
IV.5.3 La réponse impulsionnelle	55
IV.5.6 La réponse en vitesse	55
IV.5.7 Analyse fréquentielle	56
IV.5.8 Réponse harmonique	56
IV.5.9 Diagramme de Bode	57
Représentation du module.....	57
A. (le gain)	57
B. Représentation de la phase	57
IV.5.10 Diagramme de Nyquist	59
IV.5.11 Diagramme de Black	60
IV.6 Conclusion.....	61
Conclusion générale	63

Listes des Figures	page
Figure .I.1 Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée	6
Figure .I.2 a. Cellule monocristalline, b. cellule poly-cristalline, c. cellule amorphe	7
Figure .I.3 Schéma d'une cellule solaire	8
Figure .I.4 Les tailles de la cellule photovoltaïque	10
Figure .I.5 La taille le plus courant	10
Figure .I.6. Les panneaux photovoltaïques fixes	11
Figure .I.7. Suiveur solaire photovoltaïque	12
Figure .I.8 Principe général de la commande du suiveur	12
Figure. I.9 Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut	13
Figure. I.10 les positions de soleil	13
Figure. II. 1 Schéma bloc d'un système asservi	17
Figure. II. 2 Système stable	18
Figure. II. 3 Système instable	18
Figure. II. 4 système à écart statique 'non' nul	19
Figure. II. 5 système à écart statique nul	20
Figure. II. 6 Écart dynamique	20
Figure. II. 7 Temps de réponse à 5% d'un système oscillant	21
Figure. II. 8 schémas bloc d'un système en boucle fermée	22
Figure. II.9 Etapes d'analyse d'un circuit par la transformée de Laplace	23
Figure. II.10 Diagramme de Bode	27
Figure. II.11 Diagramme de Nyquist	27
Figure. II.12 : Diagramme de Black	28
Figure. II.13 : l'échelon unité	28
Figure. II. 14 La rampe unité	28
Figure. II. 15 impulsion de dirac	29
Figure. II.16 Tableau de Routh	31
Figure III.1:variation de position solaire par rapport à la terre	34
Figure III.2:les coordonnées géographiques	35
Figure III.3 : La déclinaison du soleil en fonction des jours	36
Figure III.4 : les coordonnées horaires	36
Figure III.5 : Structure mécanique du suiveur solaire	37

Figure.III.6 : Schéma d'un servomécanisme de position	37
Figure.III.7 : Schéma fonctionnel détaillé de la régulation automatique de position	40
Figure IV.1 : suiveur solaire	46
Figure IV.2 Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT	47
Figure IV.3 simulation de schéma de position	48
Figure IV.4 scoop de schéma de position de valeur fixe(20) et le gain $K_a=50$	48
Figure IV.5 scoop de schéma de position de valeur fixe(20) et le gain $K_a=552.2$	49
Figure IV.6 simulation globale de système servomécanisme de position	49
Figure IV.7 schéma fonctionnel de position dans de système	50
Figure IV.8 Changement d'éclairage	50
Figure IV.9 Changement de température	51
Figure IV.10 Changement de tension et de courant et la puissance Par L'effet du changement de lumière et de température	51
Figure IV.11 Changement de tension et de courant et la puissance Par L'effet du changement de lumière et de température dans la commande MPPT	52
Figure IV.12 Variation de la tension de système	52
Figure IV.13 Lieu d'Evans du système	53
Figure IV.14 l'effet de k_a sur le système	54
Figure IV.15 réponse indicielle de $k_a =2$	54
Figure IV.16 réponse impulsionnelle	55
Figure IV.17 Réponse en vitesse	56
Figure IV.18 Diagramme de Bode	58
Figure IV.19 Lieu de Nyquist du système	60
Figure IV.20 Lieu de Black pour trois valeurs de k_a	60

Liste des tableaux

Tableaux	page
Tableau I.1 performances des cellules	8
Tableau III.1 : Tableau de Routh	43
Tableau IV.1 Quelques valeurs du gain et de la phase pour tracer le lieu de Bode	58
Tableau IV.2 Marge de phase et marge de gain pour plusieurs valeurs de k_a (Bode)	58
Tableau IV.3 Quelques valeurs pour tracer le lieu de Nyquist	59
Tableau IV.4 Marge de phase et marge de gain pour plusieurs valeurs de k_a (Nyquist)	59

Introduction Générale

Introduction Générale

Depuis des siècles, l'énergie est indispensable au développement de la vie humaine. En absence d'énergie il n'y aura pas de chaleur, aussi pas de lumière, pas de transports, par conséquent il n'aura pas de production ou de croissance. Les besoins énergétiques risquent d'accroître énormément au cours des prochaines décennies : ils pourraient doubler, voire tripler d'ici 2050 ! Le développement des pays émerge et l'accroissement démographique nous oblige à considérer les ressources énergétiques de notre planète et à nous interroger sur leur capacité à couvrir les besoins des futures générations [1].

Les énergies renouvelables sont des énergies qui se renouvellent assez rapidement pour être considérées comme inépuisables à l'échelle humaine du temps. Parmi lesquelles se trouve l'énergie solaire qui est disponible, non polluante et gratuite. C'est pourquoi, elle est de plus en plus utilisée, comme alternative aux combustibles, dans la production d'électricité [1].

La Terre reçoit sous forme de lumière du Soleil plus de 10 000 fois l'énergie que l'humanité consomme. En effet, la surface du globe reçoit annuellement de l'énergie solaire ayant une puissance allant de 85 à 290 W/m². Et cette énergie est inépuisable car elle est entretenue par les réactions nucléaires qui ont lieu dans le soleil. Bien que la ressource ait toujours existé, son utilisation est assez récente dans l'histoire de l'humanité. On voit apparaître les premières réalisations technologiques solaires au XIX^e siècle mais c'est véritablement pendant la deuxième partie du XX^e siècle que l'énergie solaire commence à apparaître comme une source d'énergie importante, particulièrement avec le développement du photovoltaïque [16].

L'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde, avec une durée d'ensoleillement sur la totalité du territoire national pouvant atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au Sud du pays [1].

Dans le présent travail nous allons concentrer nos efforts à l'étude de de l'asservissement d'un suiveur de la solaire (panneau solaire associer avec un moteur MCC), intérêt entendu est validé par la nécessité d'obtenir une transformation de l'énergie solaire en énergie électrique avec le meilleur rendement et la meilleure régularité possible. Ceci se traduit par une orientation du panneau solaire perpendiculairement aux rayons du soleil. Cette orientation varie dans la journée compte tenu de la rotation de la terre (azimut) mais aussi en fonction de la déclinaison du soleil selon les saisons (élévation).

A cet effet, nous nous occuperons notre travail de l'asservissement d'un servomécanisme de position qui contrôle le mouvement du panneau solaire Horizontalement et verticalement pour s'assurer que les rayons solaires sont perpendiculaires au panneau solaire, afin d'absorber le maximum de rayons lumineux pour générer un maximum d'énergie électrique.

Pour faciliter notre travail, nous allons adopter les étapes suivantes :

Dans le premier chapitre, nous allons présenter des généralités sur l'énergie solaire et les équipements utilisés pour convertir les rayons lumineux en énergie électrique.

Dans le deuxième chapitre, on va présenter quelques notions de base de l'asservissement nécessaires à l'étude du système proposé.

Le troisième chapitre sera réservé à une étude qualitative pointée sur le schéma d'un servomécanisme de position. Pour cela, une étude d'asservissement peut détailler sera présenter ici.

Dans le quatrième chapitre, on va présenter les résultats obtenus par simulation.

Chapitre I

Généralité sur l'énergie solaire et le système photovoltaïque

I.1. Introduction

L'énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques et photovoltaïques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires. C'est une énergie inépuisable et propre. Les avantages de cette énergie sont principalement [10] :

- ✓ D'être une énergie inépuisable et propre ;
- ✓ De profiter d'installations dont le coût est de moins en moins cher ;
- ✓ De pouvoir réduire vos dépenses énergétiques.

L'énergie solaire provient de la fusion nucléaire qui se produit au centre du Soleil. Elle se propage dans le Système solaire et dans l'univers essentiellement sous la forme d'un rayonnement électromagnétique dont la lumière n'est que la partie visible.

Les sources d'énergie issues indirectement de l'énergie solaire sont notamment l'énergie hydraulique, dérivée de l'énergie cinétique de l'eau dont le cycle dépend de l'énergie thermique du Soleil ; l'énergie éolienne, provenant de l'énergie cinétique du vent, lui-même lié à l'échauffement et à l'évaporation de l'eau générés par le Soleil, la rotation de la Terre et la force de Coriolis ; l'énergie hydrolienne et l'énergie des vagues, liées aux mouvements des océans et des cours d'eau ; le bois énergie et l'énergie de la biomasse ainsi que la géothermie de très basse température, provenant des couches superficielles du sol réchauffées par le Soleil. L'énergie solaire est ainsi l'une des principales formes d'énergies renouvelables. On peut ajouter, à des échelles de temps plus longues, les combustibles fossiles, provenant de matières organiques créées par photosynthèse (charbon, pétrole, gaz naturel...) auxquelles s'ajoute l'énergie biochimique de la matière organique vivante [10].

Dans cette partie du mémoire on va présenter quelle que notions de base sur le principe de fonctionnement des panneaux photovoltaïques afin de produire l'électricité.

I.2. Energie solaire photovoltaïque

Cette énergie peut être consommée par n'importe quel appareil. Elle est utilisée principalement pour la fourniture d'électricité et de chaleur et quelques procédés industriels. Elle met en évidence l'utilisation de collecteurs solaires et des procédés physico-mécaniques. [3].

I.3. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

❖ **Avantage**

- ✓ Cette une énergie renouvelable et gratuite.
- ✓ L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- ✓ Génère l'énergie requise.
- ✓ Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
- ✓ L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
- ✓ La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
- ✓ Entretien minimal.
- ✓ Aucun bruit...

❖ **Inconvénients**

- La fabrication des panneaux photovoltaïques relèvent de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles. Nécessite un système de stockage pour les installations domestiques (batteries qui sont très coûteuses) [3-8].

I.4. Type de rayonnement solaire

Etant absorbé et diffusé en traversant l'atmosphère seul une fraction modifiée du rayonnement solaire parvient à la surface de la terre se composant de 3 différents types de rayonnements :

Le rayonnement direct : Rayonnement provenant du soleil en ligne droite du seul disque solaire, il est nul lorsque le soleil est complètement couvert par les nuages.

Le rayonnement diffus : Radiation solaire arrivant sur la surface de la terre après déviation de la lumière par les nuages et les molécules diverses, elle est donc nulle que la nuit.

Le rayonnement réfléchi (albédo): Radiation solaire incidente réfléchi par une surface. Le rayonnement global est donc la somme des 3 rayonnements directs, diffus, et réfléchi comme illustrer dans la figure si dessous [3].

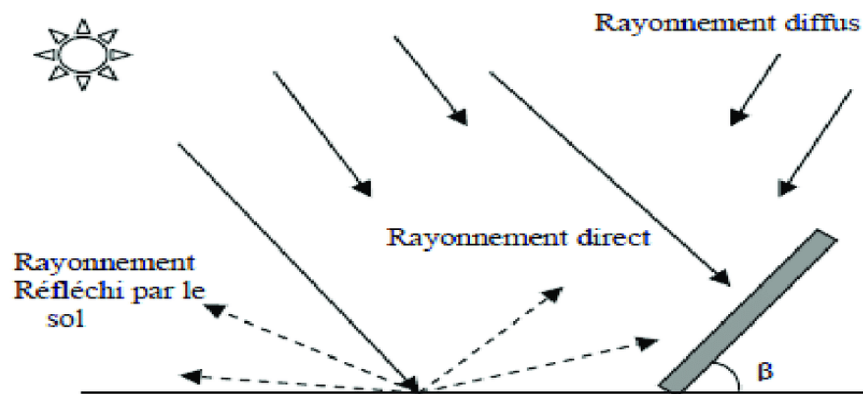


Figure.I.1 Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée
[1].

I.5. La conversion de la lumière en électricité

L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie solaire en électricité elle se produit dans des matériaux semi-conducteurs énergie sous forme de courant continu et ainsi directement utilisable :

- Dans un isolant électrique : les électrons de la matière sont liés aux atomes et ne peuvent pas se déplacer.
- Dans un conducteur électrique (un fil de cuivre par exemple) : les électrons sont totalement libres de circuler et permettent le passage d'un courant.
- Dans un semi-conducteur : la situation est intermédiaire, les électrons contenus dans la matière ne peuvent circuler que si on leur apporte une énergie pour les libérer de leurs atomes [3].

I.6. Les notions nécessaires pour la conversion photovoltaïque [3]

Les semi-conducteurs :

Pour défini c'est quoi la conversion photovoltaïque il est important de rappeler les différent types des matériaux électrique tel que :

A) Un conducteur : Est un matériau qui conduit aisément le courant électrique et les

meilleurs conducteurs sont des matériaux constitués d'un seul élément comme le cuivre, l'argent, l'or et l'aluminium, ces éléments étant caractérisés par des atomes ayant un seul électron de valence faiblement lié à l'atome.

B) Isolants : Un isolant est un matériau qui ne conduit pas le courant électrique sous des conditions normales car la plupart des bons isolants sont des matériaux composés de plusieurs éléments, contrairement aux conducteurs.

***Un semi-conducteur :** Est un matériau se situant entre le conducteur et l'isolant. Un semi-conducteur à l'état pur n'est pas un bon conducteur ni un bon isolant. Les éléments uniques les plus utilisés pour les semi-conducteurs sont le silicium, le germanium et le carbone.... [3].

I.7. La cellule photovoltaïque

I.7.1. Définition

La cellule photovoltaïque est le composant électronique de base du système. Elle utilise l'effet photoélectrique pour convertir en l'électricité les ondes électromagnétique (rayonnement) émises par le soleil [10].

I.7.2. Les différents types des cellules photovoltaïques

Il existe trois principaux types de cellules à l'heure actuelle:

A. Les cellules monocristallines : Ce sont celles qui ont le meilleur rendement (12-16%), mais aussi celle qui ont le coût le plus élevé, du fait d'une fabrication compliquée.

B. Les cellules poly-cristallines : Leur conception étant plus facile, leur coût de fabrication est moins important, cependant leur rendement est plus faible : (11% -13%).

C. Les cellules amorphes : Elles ont un faible rendement (8% - 10%), mais ne nécessitent que de très faibles épaisseurs de silicium et ont un coût peu élevé. Elles sont utilisées couramment dans les produits de petite consommation tel que les calculatrices solaires ou encore les montres [4].

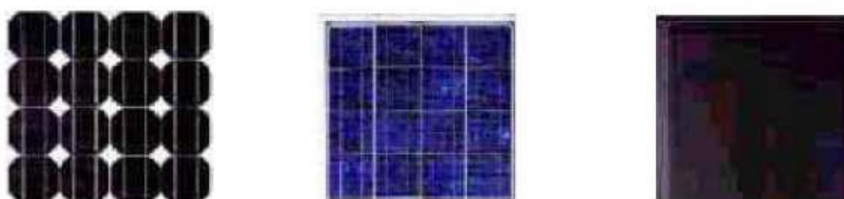


Figure I.2 : a. Cellule monocristalline, b. cellule poly-cristalline, C. cellule amorphe [4].

Le tableau montre les performances des différents types présentés actuellement sur le marché [4].

Technologie	Rendement typique	Influence de la température	Taux de dégradation
monocristallin	12 à 16 %	-0.442% par C^0	-0.38% par an
Poly cristallin	11 à 13 %	-0.416% par C^0	-0.35% par an
amorphe	8 à 10 %	-0.175% par C^0	-1.15% par an

I.7.3 Modélisation de la cellule Photovoltaïque

Le schéma équivalent d'une cellule photovoltaïque peut être représenté sous diverses variantes. La configuration de la figure I.3 peut être considérée comme la plus usuelle (Standard). Elle comporte une source de courant variable, montée en parallèle avec une diode D caractérisant la jonction et une résistance R_p (résistance parallèle) simulant les courants de fuites de la jonction, et en série avec une autre résistance R_s (résistance série) représentant les diverses résistances de contacts et de connexions, elle dépend principalement de la résistance du semi-conducteur [4].

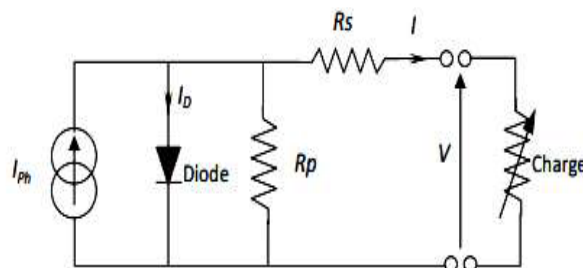


Figure I.3: Schéma d'une cellule solaire

I ; V : Le courant et la tension du GPV.

R_s ; R_p : La résistance série et parallèle.

I_0 : le courant de saturation inverse.

I_{ph} : la photo courant.

q : La charge de l'électron = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

n : Le facteur de qualité de la cellule.

K : La constante de Boltzmann = $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K.

L'expression du courant I fourni par la cellule est donné par l'équation suivante:

$$I = I_{ph} - I_D - \frac{V - R_s I}{R_p} \quad \text{I.1}$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\left(\frac{v+R_s I}{nkT}\right)} - 1 \right] - \frac{V - R_s I}{R_p} \quad \text{I.2}$$

T : La température de fonctionnement en Kelvin.

Généralement, la résistance parallèle (R_p) est très grande par rapport à la résistance série (R_s), son effet est donc très faible de telle sorte que l'on peut la négliger. Ce modèle, qui est largement utilisé qui est donné par l'équation suivante :

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{v+R_s I}{nkT}\right) - 1 \right] \quad \text{I.3}$$

Les grandeurs électriques du GPV sont données sous la forme suivant :

$$I_{sc} = N_p \cdot I_{sc}$$

$$I_0 = N_p \cdot I_0$$

$$V = N_p \cdot V$$

$$R_s = \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s$$

N_s et N_p sont respectivement le nombre de cellules en série et le nombre de cellules parallèle [4].

I.7.4. La puissance maximale :

La puissance électrique disponible aux borne d'une cellule photovoltaïque est égale le produit du courant continue I fourni par la tension continue V .

$$P = V * I$$

P : La puissance générée par la cellule photovoltaïque.

V : La tension mesurée aux bornes de la cellule photovoltaïque.

I : Le courant fourni par la cellule photovoltaïque [4].

I.7.5 Les tailles de la cellule photovoltaïque :

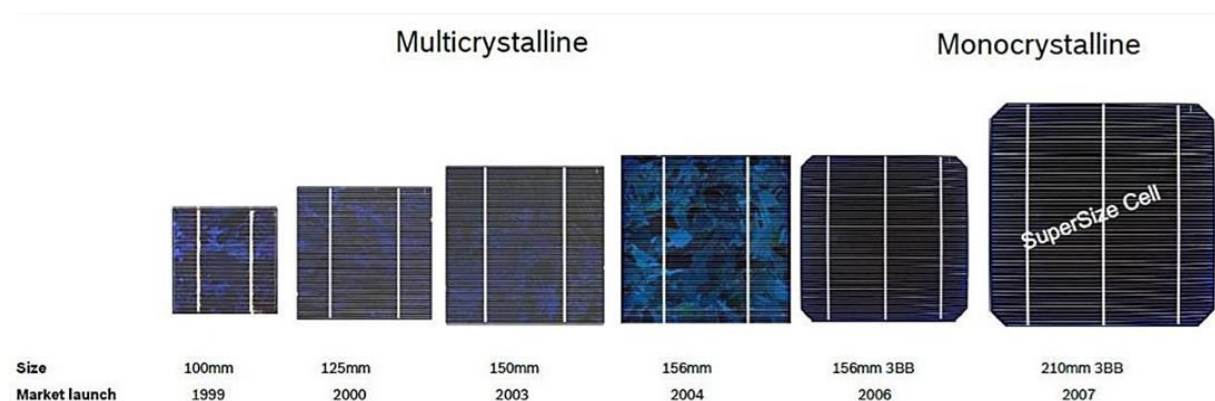


Figure I.4 : Les tailles de la cellule photovoltaïque [3].

Les Taille les plus courantes :

4'' = 101 mm

5'' = 125,5 mm

6'' = 155,5 mm

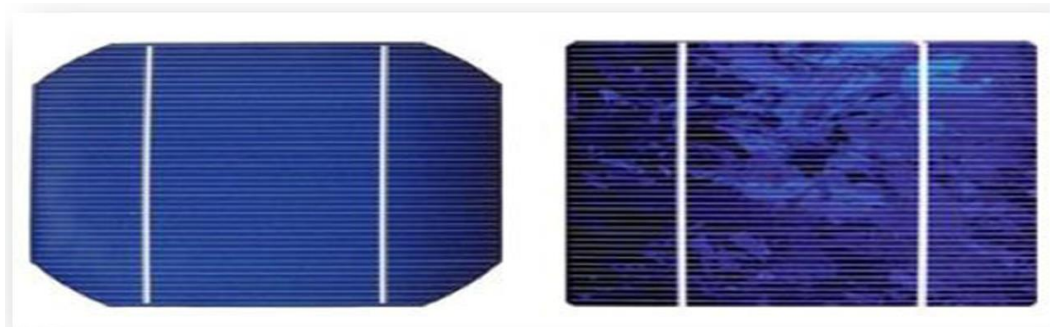


Figure I.5 : La taille le plus courant [3].

I.7.6. Les conditions STC (standard test condition) de la cellule PV

Les conditions d'essai homogènes sont mises en place pour permettre de comparer la puissance de différents panneaux solaires.

*Rayonnement 1 000W/m².

*Température 25 degrés Celsius.

* AM 1,5 (AM = Air Mass ; cette indication chiffre l'épaisseur de l'atmosphère [3]).

I.8. Paramètres caractéristiques d'un panneau photovoltaïque :

Les paramètres des cellules photovoltaïques (I_{cc} , V_{co} , FF, η) extraits des caractéristiques courant-tension, permettent de comparer différentes cellules éclairées dans des conditions identiques [3].

- Puissance nominale : 20 W.
- Tension nominale : 12 V.
- Tension à puissance maximum : 18 V.
- Courant à puissance maximum : 1,11 A.
- Puissance nominale : 20 W.
- Tension en circuit ouvert : 22,3 V.
- Courant de court-circuit : 1,13 A

Rendement de conversion

Le rendement des cellules PV désigne le rendement de conversion en puissance.

Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente P_{in} . $\eta = \frac{P_{max}}{P_{in}}$ Avec P_{in} : Puissance incidente [3].

I.11. Types d'installation de panneaux solaires

A. Panneau solaire fixe

En fonction des inclinaisons des panneaux solaires : Le système avec équerres qui permet de fixer ses panneaux solaires sur une surface plane tels que les toitures plates, le sol



Figure I.6. Les panneaux photovoltaïques fixes

B. Panneau solaire suivant la position du soleil (suiveur solaire)

Il s'agit de plusieurs panneaux solaires accrochés à un mât qui possède un moteur et deux axes lui permettant de pivoter et donc de suivre le soleil. Ce système permet de capter plus de rayons solaires et de produire plus d'électricité donc d'avoir un meilleur rendement.



Figure I.7. Suiveur solaire photovoltaïque

➤ **Les avantages de suiveur solaire**

- ✓ Augmentation de la production de 25% par rapport à une installation fixe orientée vers le sud.
- ✓ Installation possible en l'absence de toiture ou de toiture mal orientée.
- ✓ Rendement élevé et puissance maximale [12].

➤ **Principe de travail de suiveur solaire**

Le suiveur solaire s'appuie sur le même principe de poursuite, illustré dans la figure (I.8). La technique utilisée pour cette étude repose sur la différence d'éclairement incident sur les capteurs de lumière photorésistance ou LDR (Light-Dépendent-Résistor) séparés par des parois opaques et placés sur le panneau PV. Le circuit de contrôle et de commande assure la fonction de comparaison des signaux émis par les capteurs en calculant leurs différences, puis renvoie des impulsions au moteur pour repositionner le panneau perpendiculairement aux rayons solaire [5].

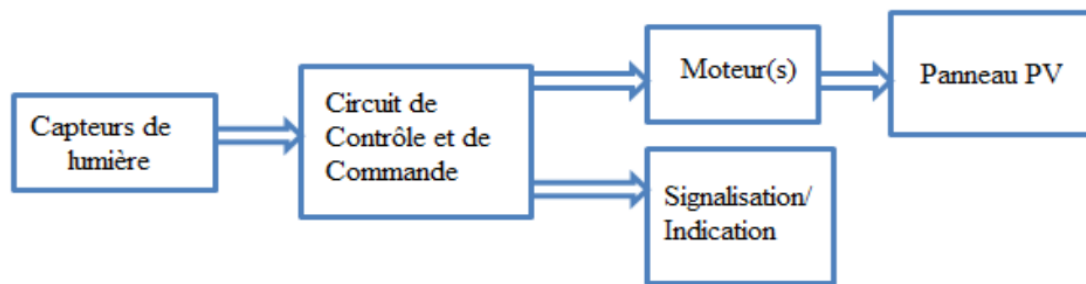


Figure I.8 : Principe général de la commande du suiveur [5].

✓ **Importance de la poursuite solaire**

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons. Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixé, ce qui entraîne des pertes énergétiques précuisent. Une installation fixe, orientée dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance croît très lentement tout le matin et diminue fortement l'après-midi [5].

I.12. Trajectoire apparente du soleil

Pour un observateur situé sur la surface de la terre, le soleil décrit une trajectoire apparente dépend de la latitude (hauteur) et la longitude (azimut) du lieu où il se trouve. Rappelons que la latitude est la distance angulaire d'un point quelconque du globe par rapport à l'équateur

(de 0 à 90 dans l'hémisphère nord). Quant à la longitude, c'est également un angle, donné par rapport au méridien de Greenwich en se déplace vers l'est figure (I.9) [5].

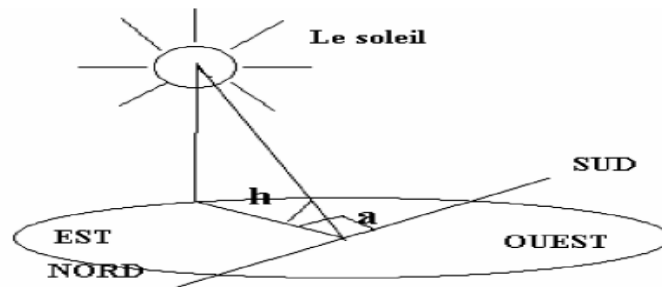


Figure I.9: Représentation de la latitude (hauteur) angulaire et l'azimut.

Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons **figure (I.10)**. Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixe, ce qui entraîne des pertes énergétiques précieuses. Une installation fixe, orientée, dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance qui croît très lentement tôt le matin et diminue fortement l'après-midi. Une part importante de l'énergie récupérable est ainsi perdue.

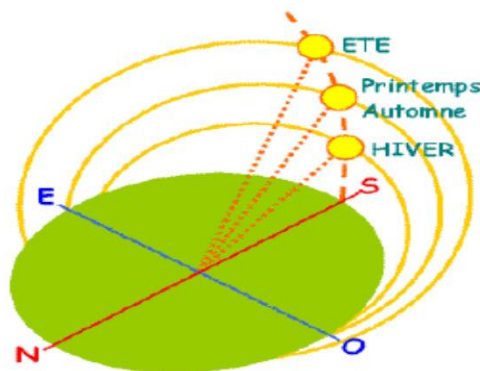


Figure I.10 : les positions de soleil.

Pour capter les rayons solaires par le suiveur il faut utiliser les photorésistances Dans l'installation [5].

I.15. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons clarifié certaines formes de production d'énergie électrique à partir du rayonnement solaire, qui est la plus importante des énergies renouvelables et propres en termes d'environnement.

Nous avons également fourni des informations sur la trajectoire du soleil au cours des quatre saisons et sur certains types de cellules solaires qui composent le panneau solaire, ainsi que sur le type approprié de panneaux solaires capables d'absorber la plus grande quantité de rayons lumineux pour donner la plus grande quantité de l'énergie électrique (le suiveur solaire), ainsi que le capteur photosensible nécessaire pour déterminer la position du soleil.

Chapitre II

Notions de bases de
L'asservissement

II.1 Introduction :

Les progrès actuels de l'automatisme dans un large éventail d'applications intéressent sans aucun doute tous les secteurs techniques et scientifiques. Ces dernières années, il est devenu un élément important de la formation des ingénieurs, quelle que soit leur spécialité.

En automatique, un asservissement est un système dont l'objet principal est d'atteindre le plus rapidement possible sa valeur de consigne et de la maintenir constante, quelles que soient les perturbations externes. Le principe général est de comparer la consigne et l'état du système de manière à le corriger efficacement. On parle également de système commandé par rétroaction négative ou en boucle fermée [1].

Le principe de base d'un asservissement est de mesurer, en permanence, l'écart entre la valeur réelle de la grandeur à asservir et la valeur de consigne que l'on désire atteindre, et de calculer la commande appropriée à appliquer à un (ou des) actionneur(s) de façon à réduire cet écart le plus rapidement possible [1-19].

Ce principe pratiquement universel a cependant un inconvénient (généralement négligeable et souvent négligé, sauf pour les systèmes très rapides ou nécessitant des suivis précis de trajectoire) : les actionneurs étant pilotés en fonction de l'écart entre la valeur réelle et la consigne, le système ne peut réagir que lorsque cet écart est effectif, c'est-à-dire avec un certain retard qui dépend de la précision et du temps de réponse des capteurs [1-19].

Plusieurs paramètres caractérisent les performances d'un asservissement :

- ✓ **la rapidité** se définit par la vitesse à laquelle une valeur stable en sortie est atteinte. C'est le **temps de réponse** ;
- ✓ **la stabilité**. Pour une entrée constante, un système est stable si la sortie tend vers une valeur finie. Si elle oscille ou diverge, l'asservissement est instable ;
- ✓ **le dépassement** de la consigne ; souvent exprimé en % d'erreur. Même lorsqu'un système est stable, il arrive que la sortie dépasse la consigne avant de se stabiliser, ce qui n'est pas nécessairement une anomalie ;
- ✓ **la précision**, c'est-à-dire la capacité de l'asservissement à atteindre la consigne avec précision le plus rapidement possible [13].

Un asservissement agit sur une ou plusieurs caractéristiques de la grandeur asservie telles que :

- ✓ **La position : asservissement de position ;**

- ✓ La vitesse : asservissement de vitesse ;
- ✓ L'accélération : asservissement d'accélération [13].

II.2 Système asservi :

II.2.1 Définition :

Un système asservi est un système bouclé dans lequel la grandeur de retour est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration d'un signal, appelé écart. Ce signal écart est adapté et amplifié afin de commander la partie opérative [1].

Un système asservi peut être défini en trois points :

- ✓ **Un système à retour** : L'évolution de la grandeur de sortie est surveillée au moyen d'un capteur qui la transforme en une grandeur image appelée retour. Cette grandeur image doit être de la même nature que la grandeur d'entrée.
- ✓ **Un système générateur d'écart** : La grandeur de retour, image de la sortie, est comparée à la grandeur d'entrée par élaboration de la différence ou écart.
- ✓ **Un système amplificateur** : L'écart est une grandeur d'autant plus faible que la sortie est proche de l'entrée et devient alors insuffisant pour maintenir un signal de commande en sortie [1].

II.2.2 Schéma fonctionnel d'un système asservi :

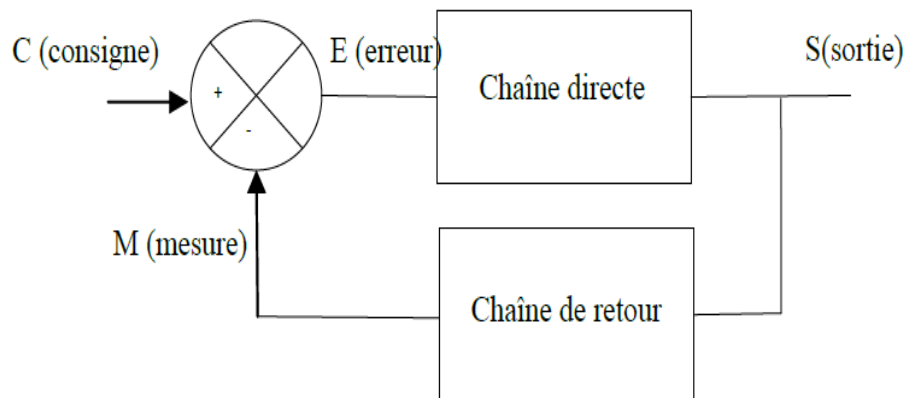


Figure. II. 1. Schéma bloc d'un système asservi [1].

Il comporte :

- ✓ Un comparateur.
- ✓ Une chaîne directe ou chaîne d'action.
- ✓ Une chaîne de retour ou chaîne de réaction.

A) Le comparateur :

Le comparateur permet à tout instant de comparer la valeur de consigne à la valeur mesurée (image de la sortie), de façon à élaborer le signal d'erreur [1].

B) La chaîne directe ou chaîne d'action :

Il se compose des éléments suivants : Un correcteur, dont le rôle est de modifier le signal d'erreur pour générer un signal de commande, améliorant ainsi les performances du système. Un processus dont le rôle est de donner de la valeur ajoutée aux matériaux de travail attendu [1].

C) La chaîne de retour ou chaîne de réaction :

Elle est composée :

- D'un capteur : qui permet de donner une image fidèle de la grandeur de sortie.
- D'un adaptateur : qui permet de transformer l'information en prévenance du capteur pour qu'elle soit compréhensible par le régulateur.

II.2. 3. Performances du système d'asservissement:

Les critères permettant de qualifier et quantifier les performances du système sont :

- La stabilité
- La précision
- La rapidité

II.2.3.1. La stabilité:

Un procédé asservi ou non est stable si à une variation bornée du signal d'entrée correspond une variation bornée du signal de sortie. Une variation d'un signal est dite bornée lorsqu'elle est constante en régime permanent [1].

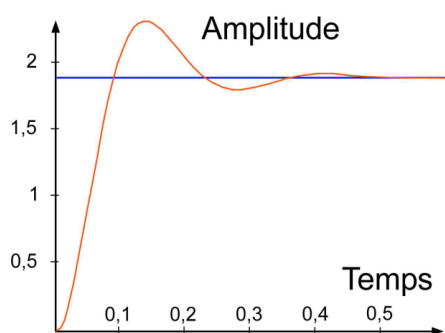


Figure. II. 2. Système stable. [1]

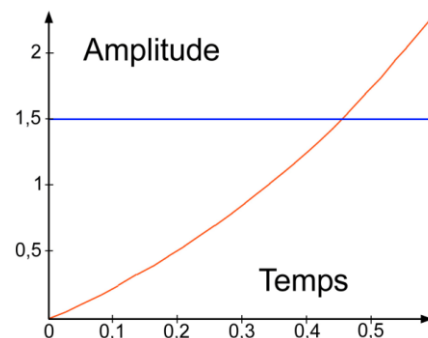


Figure. II. 3. Système instable. [1]

II.2.3.2. La précision:

La précision est caractérisée par le dépassement $D1$ lors du régime transitoire de la réponse de la grandeur réglée suite à un échelon de consigne ou de perturbation. Cette précision est liée directement au degré de stabilité du procédé ; c'est un critère de performance qui peut être défini par les marges de gain et de phase [1].

L'écart entre la consigne (sortie attendue) et la sortie (sortie réelle) se caractérise donc de la manière suivante (entrée et sortie homogènes) [1-24] :

$\varepsilon(t) = e(t) - s(t)$ et on envisage la valeur de ε pour $t \rightarrow \infty$ (régime permanent)

L'écart est exprimé dans l'unité de la grandeur de sortie, ou encore en %. On peut alors envisager l'écart à la sortie du comparateur, ce qui est équivalent. On distingue différents types d'erreur, en fonction du signal d'entrée [1-24].

II.2.3.2.1 L'écart statique (ε_s) :

$$e(t) = E. u(t)$$

Pour caractériser l'écart statique, on soumet le système considéré à une entrée en échelon d'amplitude constante, représentée sur les figures si dessous. La réponse du système $s(t)$ est représentée en trait fin. En général, la réponse se stabilise au bout d'un certain temps, c'est le régime permanent.

Donc on peut dire que l'écart statique est la différence entre la valeur visée et la valeur atteinte en régime Permanent [1-7].

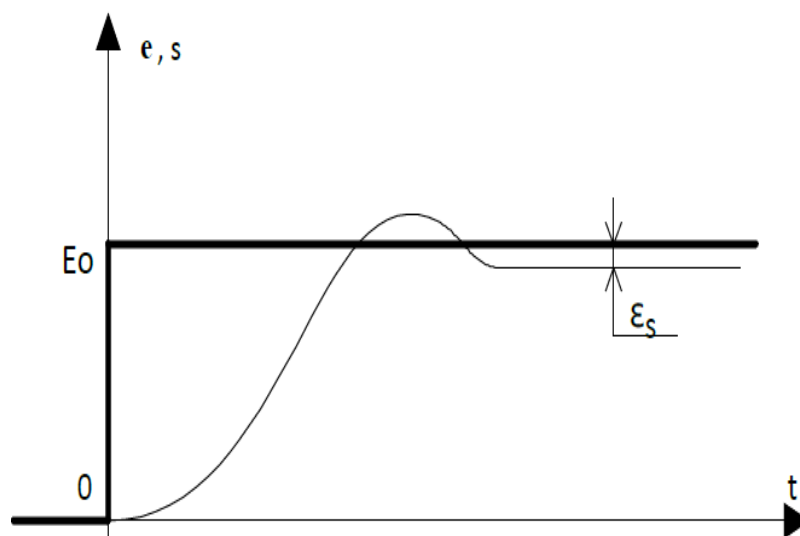


Figure. II. 4. Système à écart statique 'non' nul.

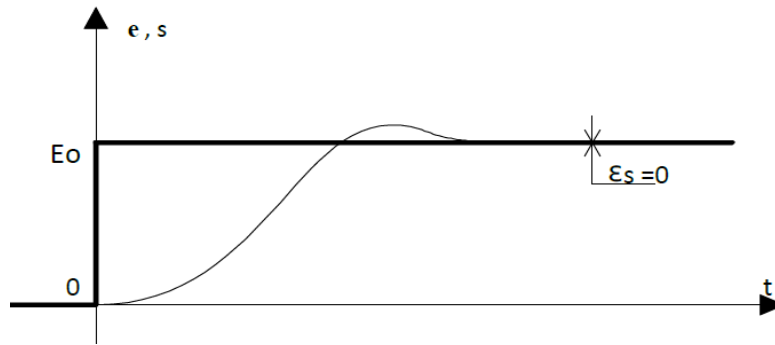
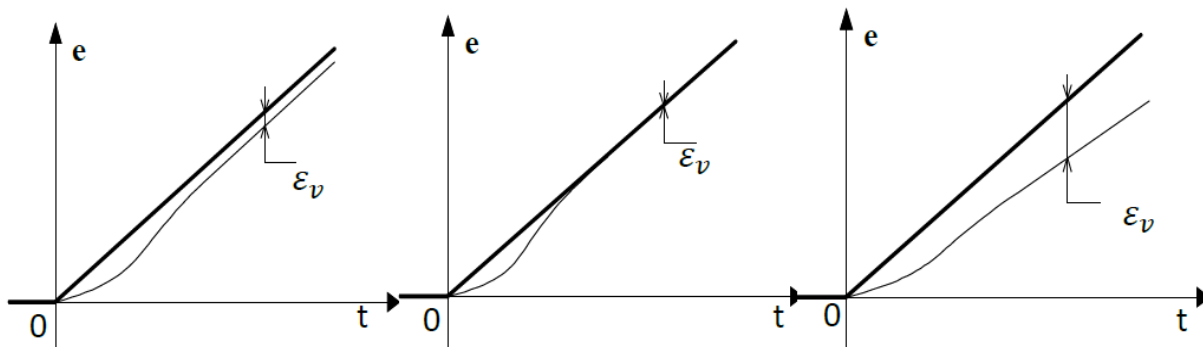


Figure. II. 5. Système à écart statique nul.

II.2.3.2.2 L'écart dynamique : (ϵ_v)

Pour caractériser l'écart dynamique, on soumet le système considéré à une entrée rampe de pente a : $e(t) = a.t.u(t)$ représentée sur les figures au-dessus. De même que précédemment on considère la réponse en régime permanent.

L'écart dynamique est la différence entre la consigne et la réponse en régime permanent. On l'appelle également écart de traînage ou écart de poursuite [1-25].



Écart dynamique constant.

Écart dynamique nul

Écart dynamique infini

Fig. II. 6. Écart dynamique

II.2.3.3 La rapidité:

La rapidité est caractérisée par le temps que met le système à réagir à une brusque variation du signal d'entrée. Cependant, la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière asymptotique (système stable), on retient alors comme principal critère d'évaluation de la rapidité d'un système, le temps de réponse à $n\%$.

En pratique, on utilise le temps de réponse à 5% ($Tr_{5\%}$) appelé aussi temps d'établissement, c'est le temps mis par le système pour atteindre sa valeur de régime permanent à $\pm 5\%$ près et y rester.

Le temps de réponse à 5% caractérise la durée de la phase transitoire. C'est une des caractéristiques importantes des systèmes bouclés. On cherchera souvent à diminuer ce temps de réponse, sans que cela soit au détriment d'autres performances [1-24].

La bande passante est liée au temps de réponse : un système de bande passante élevée est un système rapide et inversement.

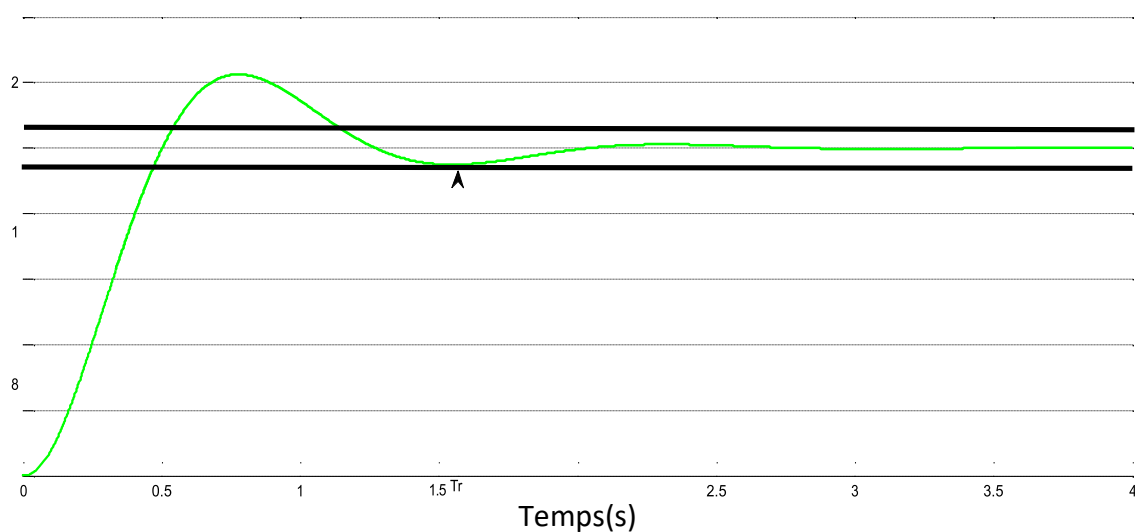


Figure. II. 7. Temps de réponse à 5% d'un système oscillant.

II.3.1 Fonction de transfert

II.3.1.1 Définition :

On appelle la fonction de transfert d'un système, le rapport de la transformée de Laplace du signal de sortie à celui de l'entrée [1-26].

On générale : L'écrire de l'équation différentielle qui lie l'entrée $e(t)$ et la sortie $s(t)$ du système est donnée par :

$$a_n \frac{d^n e(t)}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} e(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 = b_m \frac{d^m s(t)}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} s(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 \quad \text{II.1}$$

En appliquant la transformée de Laplace à l'équation différentielle.

$$E(p) (anpn + an-1pn-1 + \dots + a0) = S(p) (bpm + bm-1pm-1 + \dots + b0) \quad \text{II.2}$$

Et finalement on peut exprimer la fonction de transfert $F(p)$ du système par : $F(p) = \frac{s(p)}{E(p)}$.

$$F(p) = \frac{s(p)}{E(p)} = \frac{b^0 + b^1p + b^2p^2 + \dots + b^mp^m}{a^0 + a^1p + a^2p^2 + \dots + a^np^n} = \frac{N(p)}{D(p)} \quad \text{II.3}$$

II.3.1.2 Fonction de transfert en boucle ouverte [1] :

Lors de la détermination de la fonction de transfert en boucle ouverte, la boucle est ouverte au niveau de la grandeur de retour, même si cela peut sembler non intuitif :

$$FTBO = (p) = G(p)E(p) \quad \text{II.4}$$

II.3.1.3 Fonction de transfert en boucle fermée [1].

Le calcul de la FTBF permet de modéliser le système asservi dans son ensemble. On a :

$$FTBF = H(p) = \frac{G(p)}{1+G(p)} \quad \text{II.5}$$

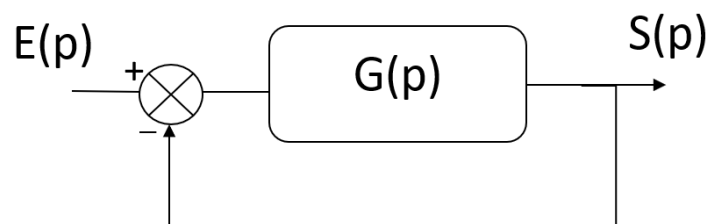


Figure. II. 8. Schémas bloc d'un système en boucle fermée

II.4 Systèmes linéaires :

On appelle Systèmes linéaire tout système qui lie les entrées et les sorties sous d'une équation différentielle, il est caractéristique généralement par deux propriétés principales [1].

- ✓ L'additivité
- ✓ Proportionnalité

II.4.1 Représentation d'un Système linéaire par une équation différentielle :

Tout système dynamique peut être représenté par une équation différentielle à coefficients constants liant les grandeurs d'entre de sortie de la forme [1].

$$\sum_{i=0}^n a_i(t) \frac{d^i e(t)}{dt^i} = \sum_{i=0}^m b_i(t) \frac{d^i s(t)}{dt^i} \quad \text{II.6}$$

Avec : (t) les grandeurs d'entrées

(t) Les grandeurs de sorties

II.4.2 Transformée de Laplace

II.4.2.1 Définition de la transformée de Laplace :

La transformée de Laplace d'une fonction est donnée par l'expression suivante :

$$L(f(t)) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt \quad \text{II.7}$$

Ou le symbole $L(f(t))$ veut dire la transformée de Laplace de $f(t)$.

On utilise aussi l'expression $F(s)$ pour décrire la transformée de Laplace [1-27].

$$F(s) = L(f(t))$$

La transformée de Laplace permet donc de transformer le problème du domaine du temps au domaine de la fréquence. Lorsqu'on obtient la réponse voulue dans le domaine de la fréquence, on transforme le problème à nouveau dans le domaine du temps, à l'aide de la *transformée inverse de Laplace* [9].

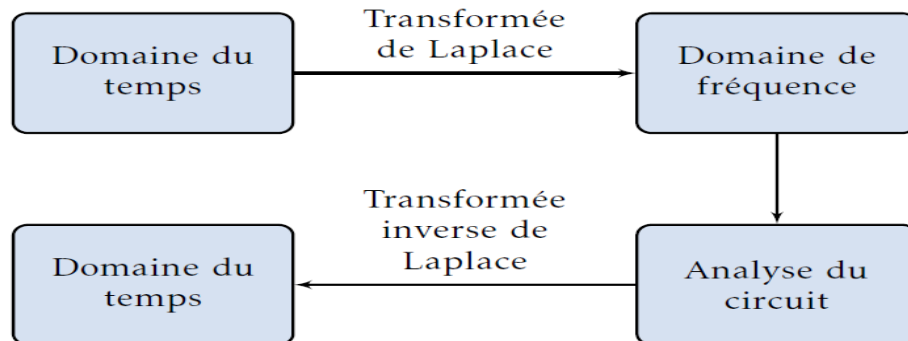


Figure. II.9. Etapes d'analyse d'un circuit par la transformée de Laplace [9].

II.4.2.2 Principales propriétés de la transformée de Laplace [1] :

A. Linéarité :

Soient a et b deux constantes, la fonction $f(t) = a.f_1(t) + b.f_2(t)$ pour transformée de Laplace

$$F(p) = a.f_1(p) + b.f_2(p)$$

$$f(t) = a.f_1(t) + b.f_2(t) \rightarrow a.F_1(t) + b.F_2(p) \quad \text{II.8}$$

B .Translation complexe :

La fonction $g(t) = f(t).e^{-a.t}$ pour transformée de Laplace $G(p) = F(p + a)$.

$$g(t) = f(t). e^{-a.t} \rightarrow G(p) = F(p + a) \quad \text{II.9}$$

C .Translation temporelle :

Soit $f(t)$ une fonction dont la transformée de Laplace est $F(p)$ et soit $g(t)$ la fonction présentant un retard τ par rapport à $f(t)$ telle que $g(t) = f(t - \tau)$ alors on a :

$$g(t) = f(t - \tau) \rightarrow G(p) = F(p). e^{-\tau p} \quad \text{II.10}$$

D. Dérivation :**Ordre 01 :**

$$F_1(t) = \frac{df(t)}{dt} \rightarrow p \cdot f(p) - f(0^+) \quad \text{II.11}$$

Ordre n :

$$F_n(t) = \frac{d^n f(t)}{dt^n} \rightarrow p^n F(p) - p^{n-1} f(0^+) - \dots - p f^{n-2}(0^+) - f^{n-1} f(0^+) \quad \text{II.12}$$

E. Intégration :

$$\int_0^t f(\tau). d\tau \rightarrow (L) \rightarrow \frac{F(p)}{p} \quad \text{II.13}$$

Lorsque les conditions initiales sont nulles, on peut retenir simplement :

- ❖ Dériver dans le domaine temporel revient à multiplier par p dans le domaine fréquentiel
- ❖ Intégrer dans le domaine temporel revient à diviser par ' p ' dans le domaine fréquentiel

F .Théorèmes des limites :

Théorème de la valeur initiale :

$$f(0) = \lim_{t \rightarrow 0} f(t) = \lim_{p \rightarrow \infty} pF(p) \quad \text{II.14}$$

Théorème de la valeur finale :

$$f(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} f(t) = \lim_{p \rightarrow 0} pF(p) \quad \text{II.15}$$

II.4.3 Passage d'une équation différentielle à une fonction de transfert [1, 29] :

Un système décrit par une équation différentielle liant l'entrée $y(t)$ à la sortie $x(t)$. On suppose que les conditions initiales sont nulles, Les transformées respectives de l'entrée et de la sortie

$$\text{sont :} \quad x(t) = \mathcal{L}[x(t)] = X(p) \quad y(t) = \mathcal{L}[y(t)] = Y(p)$$

On rappelle que la transformée de Laplace de la dérivée d'ordre n d'une fonction $f(t)$ pour des conditions initiales supposées nulles, est donnée par :

$$L\left(\frac{d^n f(t)}{dt^n}\right) = p^n F(t) \quad \text{II.16}$$

En appliquant la transformée de Laplace aux deux membres de l'équation différentielle on obtient :

$$(b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0) s(p) = (a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0) E(p) \quad \text{II.17}$$

D'où le rapport de la transformée de Laplace du signal de sortie à celle du signal d'entrée correspondant, toutes les conditions initiales étant nulles qui est défini comme étant la fonction de transfert du système $H(p)$.

$$H(p) = \frac{s(p)}{E(p)} = \frac{(b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0)}{(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0)} \quad \text{II.18}$$

Elle permet de déterminer les caractéristiques principales du système sans résoudre l'équation différentielle. La fonction de transfert caractérise la dynamique du système, elle ne dépend que de ses caractéristiques physiques. Elle est largement utilisée dans la théorie des systèmes linéaires continus et invariants. Donc, un système sera décrit par sa fonction de transfert et non par l'équation différentielle qui le régit.

De manière générale, la fonction de transfert d'un système se présente sous la forme d'un rapport de deux polynômes de la variable de Laplace p . Elle peut s'écrire sous la forme :

$$H(p) = \frac{(b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0)}{(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0)} = \frac{N(p)}{D(p)} \quad \text{II.19}$$

On appelle respectivement les zéros et les pôles de la fonction de transfert les racines de l'équation $N(p) = 0$ et $D(p) = 0$. L'ordre d'un système est défini par le degré de $D(p)$ qui, en général, est supérieur ou égal à celui du numérateur pour les systèmes physiques réels. C'est aussi le rapport de la transformée de Laplace de la sortie à la transformée de Laplace de l'entrée quand toutes les conditions initiales sont nulles. Dans ce cas, on a :

$$(p) = H(p)E(p) \quad \text{II. 20}$$

II.5 Analyse des systèmes linéaires

II.5.1 Introduction :

L'analyse des systèmes dynamiques linéaires, par l'étude des réponses temporelles à des excitations typiques et l'étude de la réponse harmonique à une excitation sinusoïdale sont très utilisées et permettent la détermination des principales performances [1-30].

II.5.2 Analyse harmonique [1-31].

Si on applique un signal sinusoïdal à un système linéaire, on sait que la réponse est sinusoïdale. On montre également qu'une fois le régime transitoire établi, la sortie est sinusoïdale, de même pulsation que l'entrée, mais d'amplitude et de phase différente. La fonction de transfert s'écrit alors (avec $p = j\omega$, ω étant la pulsation du signal d'entrée).

$$H(j\omega) = \frac{s(j\omega)}{E(j\omega)} = \frac{(b_m(j\omega)^m + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \dots + b_1(j\omega) + b_0)}{(a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + a_1(j\omega) + a_0)} \quad \text{II.21}$$

La représentation pour l'analyse harmonique peut se faire des trois manières différentes mais équivalentes appelées souvent diagramme de Bode, Nyquist et Black.

II.5.2.1. Diagramme de Bode :

Le Diagramme de Bode d'un système linéaire est la double représentation du gain $A(\omega)$ en décibel et de la phase $\varphi(\omega)$ en degré, de $F(j\omega)$ et où « ω » est reporté en échelle logarithmique [1].

A) La courbe du gain :

La courbe du gain d'un système linéaire de transmittance $F(j\omega)$ est le lieu des points définis en coordonnées cartésiennes semi-logarithmiques par une ordonnée égale au gain logarithmique en décibels et une abscisse égale à la pulsation ' ω ' variant de zéro à l'infini [1].

$$AdB(\omega) = 20 \log |F(j\omega)| \quad \text{II.22}$$

C) La courbe de phase :

La courbe de phase d'un système linéaire de transmittance $F(j\omega)$ est le lieu des points définis en coordonnées cartésiennes semi-logarithmiques par une ordonnée égale à l'argument de $F(j\omega)$ en degrés et une abscisse égale à la pulsation ' ω ' variant de zéro à l'infini.[1]

$$\varphi(\omega) = \text{Arg}[F(j\omega)]$$

II. 23

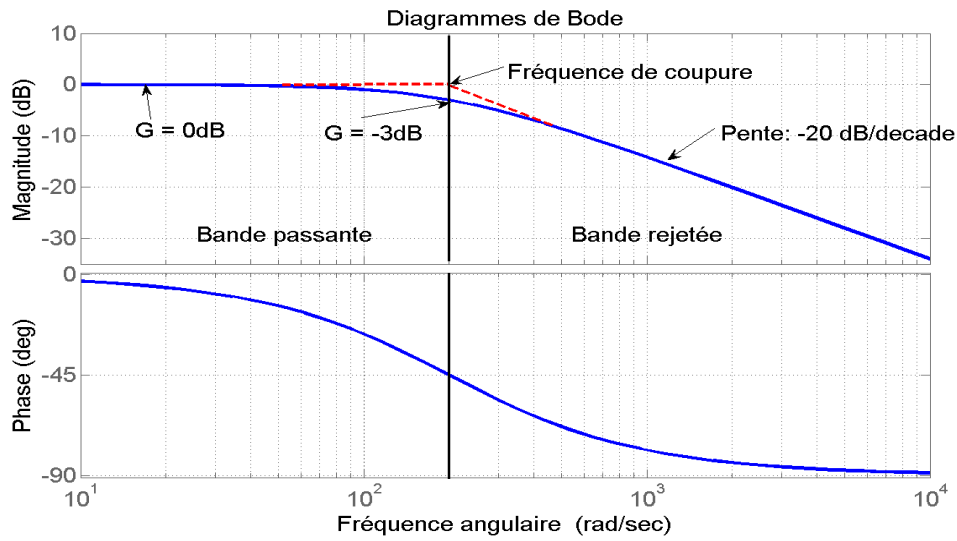


Figure. II. 10 Diagramme de Bode

II.5.2.2. Diagramme de Nyquist [1].

Le lieu de Nyquist d'un système linéaire de transmittance $F(j\omega)$ est le lieu des points définis en coordonnées cartésiennes par une ordonnée égale à $\text{Im}(F(j\omega))$ et une abscisse égale à $\text{Re}(F(j\omega))$ pour ' ω ' variant de zéro à l'infini, le lieu est gradué en valeurs de ω .

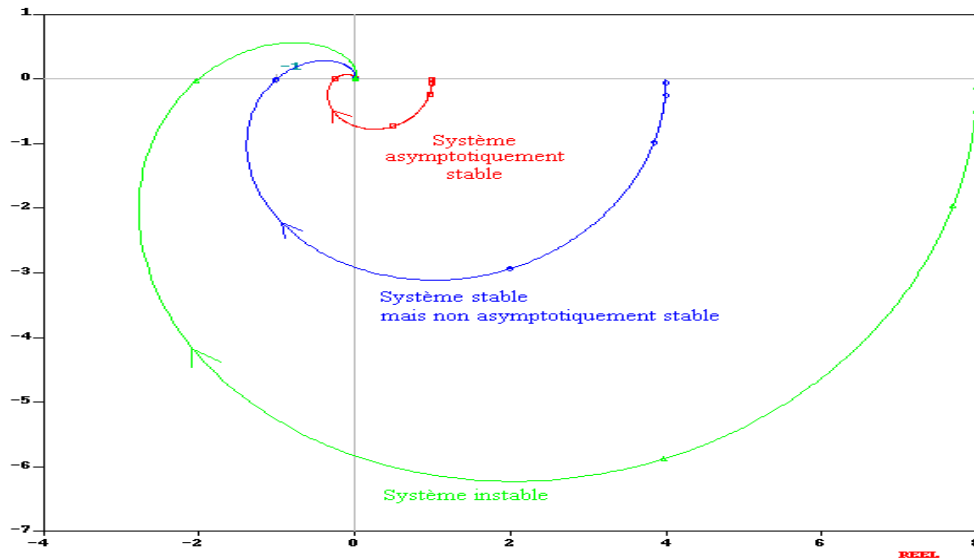


Figure. II. 11 Diagramme de Nyquist

II.5.2.3. Diagramme de Black :

Il s'agit d'une représentation équivalente à celle de Bode, mais tracée dans un seul plan, $\varphi(\omega) = \text{Arg}[F(j\omega)]$ étant placé en abscisse et $\text{AdB} = 20 \log|F(j\omega)|$ en ordonnée, pour ω variant de zéro à l'infini, le lieu est gradué en valeurs de ω [1].

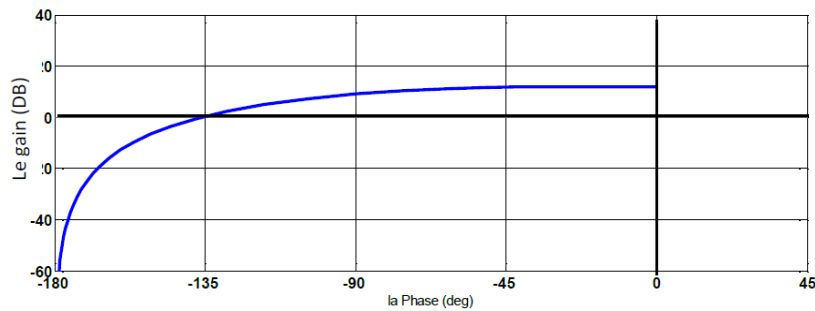


Figure. II.12 : Diagramme de Black

II.5.3. Analyse temporelle :

L'analyse temporelle permet à partir des réponses temporelles à des excitations dites usuelles de statuer sur les performances des systèmes à savoir la stabilité, la précision, la rapidité et la qualité de ces systèmes. Parmi les signaux « tests » en entrée les plus usuellement utilisés, nous citons : (impulsion, échelon, rampe) [1].

II.5.3.1. L'échelon -unitaire $u(t)$:

Appelée aussi existence ou fonction d'Heaviside. Elle correspond à un changement brusque et maintenu de la consigne (saut). Cette fonction est définie par [1].

$$u(x) = f(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } t \geq 0 \\ 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

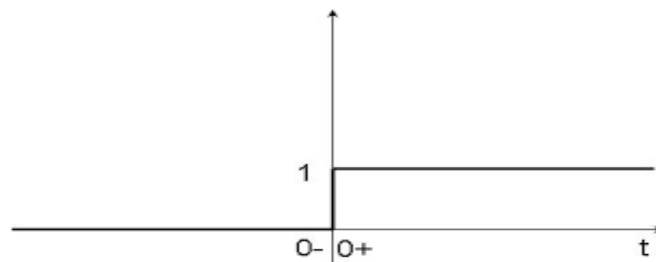


Figure. II.13 : l'échelon unité

II.5.3.2 La rampe unité $r(t)$:

C'est une variation linéaire en fonction du temps, elle est définie par :

$$r(x) = f(x) = \begin{cases} t & \text{si } t \geq 0 \\ 0 & \text{si } t < 0 \end{cases}$$

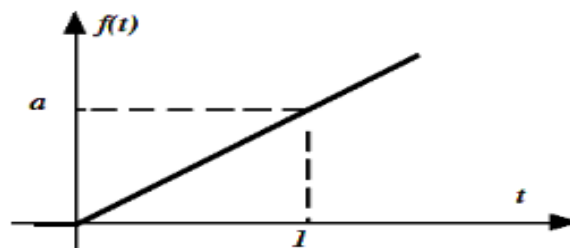


Figure. II. 14 La rampe unité [1].

II.5.3.3. L'impulsion de Dirac [1].

Appelée aussi percussion-unité, elle est définie par :

$$\delta(x) = \begin{cases} \frac{1}{T} & \text{si } t > 0 \\ 0 & \text{si } t < 0 \text{ et } t > T \text{ avec } T \rightarrow 0 \end{cases}$$

La transformée de Laplace de l'impulsion de Dirac est :

$$\delta(t) \xrightarrow{\Delta} \Delta(p) = 1$$

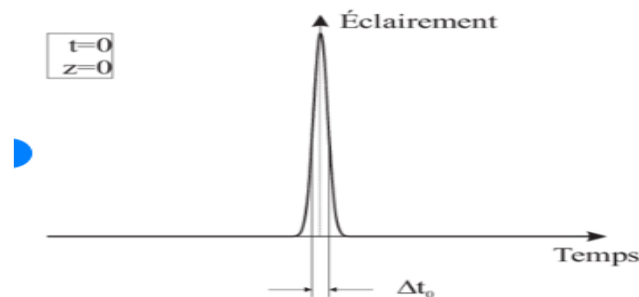


Figure. II. 15 Impulsion dirac

II.5.4. Stabilité des systèmes [1] :

La stabilité d'un système dynamique linéaire est la propriété selon laquelle ce système, écarte de sa position d'équilibre par une sollicitation extérieure, revient à cette position d'équilibrer une fois que cette sollicitation a cessé.

II.5.4.1 Conditions de stabilité :

Un système linéaire est stable si aucune des racines de son équation caractéristique (Dénominateur de sa fonction de transfert) n'a pas de partie réelle positive. Pour cela exclut :

- Les racines réelles positives.
- Les racines complexes à parties réelles positives.

On peut formuler ceci autrement :

- Un système asservi bouclé est stable si tous les pôles de la FTBF sont localisés dans le demi-plan gauche du plan complexe.
- Un système asservi bouclé est instable si sa FTBF comprend, au moins, un pôle localisé dans le demi-plan droit du plan complexe et/ou des pôles de multiplicité >1 sur l'axe imaginaire.

• Si le système comprend une seule paire de pôle sur l'axe imaginaire ou un pôle unique à l'origine, le système est dit marginalement stable. Sa réponse sera oscillatoire non amortie ou non oscillatoire à variation constante lorsque $t \rightarrow \infty$

Mais les conditions de stabilité ainsi définies ne sont pas suffisantes pour caractériser un système asservi : un système très mal amorti sera inutilisable, il faudra des marges dites de sécurité sur les coefficients d'amortissement [1].

II.5.4.2. Critère de stabilité

Il existe d'autre méthode pour analyser la stabilité des systèmes sans les tracer. Ce sont les critères de stabilité en boucle fermée à partir du tracé de la boucle ouverte ou à partir de l'équation caractéristique. Ces critères sont [1].

❖ Critère algébrique (Routh)

❖ Critère graphique (revers)

II.5.4.2.1 Critère algébrique (Routh) :

Le critère de Routh permet de déterminer le nombre de racines d'un polynôme et donc les pôles de la FTBO ou de la FTBF ayant leurs parties réelles positives, sans calculer ces racines ou ces pôles.

Considérons un système de FTBF :

$$H(p) = \frac{N(p)}{D(p)} = \frac{N(p)}{(a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0)} \quad \text{II.24}$$

L'étude du polynôme caractéristique $D(p) = 0$ (ou polynôme d'Horowitz) permet de conclure sur la stabilité du système.

Le critère de stabilité de Routh se décompose en deux conditions :

1- Une condition nécessaire : la stabilité exige que tous les coefficients (a) soient de même signe et non nuls

2- Une condition nécessaire et suffisante : le système est stable (i.e. les zéros de $D(p)$ c'est-à-dire les pôles de $H(p)$, sont tous à partie réelle strictement négative) si et seulement si tous les termes de la 1ère colonne du tableau de Routh sont de même signe [1].

Tableau de Routh :

Soit $D(p) = a_n \cdot p^n + a_{n-1} \cdot p^{n-1} + \dots + a_1 \cdot p + a_0$, avec $a_n > 0$.

p^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}	\dots	a_2	a_0	\dots	a_3	a_1
p^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}	\dots	a_1	\dots	\dots	a_2	a_0
p^{n-2}	b_{n-2}	b_{n-4}	b_{n-6}	\dots	<i>si n pair</i>		\dots	<i>si n impair</i>	
p^{n-3}	c_{n-3}	\dots	\dots						
\dots	\dots	\dots							
p^1	\dots	\dots							
p^0	\dots								
Première colonne, dite des pivots									

Figure. II.16 Tableau de Routh

La première ligne contient les coefficients des termes en p^{n-2k} dans l'ordre des puissances décroissantes.

La deuxième ligne contient les coefficients des termes en p^{n-1-2k} , et se termine suivant la parité de n.

Les lignes suivantes sont remplies en suivant les lois de formation suivantes :

$$b_{n-2} = \frac{-1}{a_{n-1}} \begin{vmatrix} a_n & a_{n-2} \\ a_{n-1} & a_{n-3} \end{vmatrix} \qquad b_{n-i} = \frac{-1}{a_{n-1}} \begin{vmatrix} a_n & a_{n-i} \\ a_{n-1} & a_{n-i-1} \end{vmatrix}$$

$$c_{n-3} = \frac{-1}{b_{n-2}} \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} \\ b_{n-2} & b_{n-4} \end{vmatrix} \qquad c_{n-j} = \frac{-1}{b_{n-2}} \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-j} \\ b_{n-2} & b_{n-j-1} \end{vmatrix}$$

Si nécessaire, une case vide est prise égale à zéro.

Le calcul des lignes est poursuivi jusqu'à ce que la première colonne soit remplie.

Le critère de Routh s'énonce comme suit :

- 1- Si tous les termes de la première colonne de la grille de Routh sont positifs, l'équation caractéristique possède que des racines à parties réelles négatives : le système est stable.
- 2- S'il y a un changement de signes dans la deuxième colonne, l'équation caractéristique possède q racines à parties réelles négatives : le système est instable.
- 3- Si tous les coefficients d'une ligne sont nuls, les racines sont imaginaires : le système est à la limite de la stabilité [6].

II.6 conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté quelques généralisations sur l'asservissement utilisé pour traiter et contrôler les systèmes, Nous avons présenté les éléments nécessaires pour le système asservi, boucle ouverte et boucle fermée, chaîne d'action et de réaction, notions sur la modélisation des systèmes asservis par des équations différentielles et à travers de leur fonction transfert.

Le système asservi, Il est étudié par analyse fréquentielle et temporelle pour permettre l'accès aux performances fournies par le système tout en conservant sa stabilité, précision et sa rapidité.

Un des objectifs d'un système asservi est de remplacer l'homme dans une tâche de régulation, de contrôle d'une grandeur, le régulateur ajuste alors automatiquement la commande afin de maintenir la grandeur de sortie à la valeur désirée.

L'objectif principale visé par le présent chapitre est d'appliquer les notions de base de l'automatique sur l'étude d'asservissement d'un système servomécanismes associé avec un panneau photovoltaïque afin d'assurer le MPPT (la puissance maximale obtenue par un panneau solaire)

Chapitre III

Asservissement d'un servomécanisme de position

III.1. INTRODUCTION

Le servomécanisme est un système qui régule automatiquement le fonctionnement d'un dispositif et lui imprime des variations suivant un programme établi à l'avance.

Pour modéliser un panneau solaire associé avec un servomécanisme, afin d'obtenir la puissance maximale MPPT, on doit considérer quelques phénomènes physiques (mouvement du globe terrestre, le rayonnement solaire, paramètres de position). A cet objectif, la modélisation d'un servomécanisme de position nécessite une compréhension de certains processus de déformation et de contrôler la qualité de produits (l'analyse temporelle, analyse fréquentielle). L'application de cette méthode dans une classe importante de problèmes exige l'utilisation d'un outil numérique pour étudier et manipuler ce système afin de maintenir sa stabilité et sa vitesse de réponse. Cette modélisation nécessite également des grandeurs optiques, thermiques, électriques et temporelles, ainsi que des analyses temporelles et fréquentielles.

III.2. PARAMETRES DE POSITION

La Terre tourne autour du Soleil en une année et son plan de révolution définit le plan de l'écliptique. L'élément déterminant est que l'axe de rotation de la Terre sur elle-même, qui reste toujours parallèle à lui-même, n'est pas perpendiculaire au plan de l'écliptique mais est incliné par rapport à cette perpendiculaire d'un angle de $\varepsilon = 23^\circ$. Au cours de sa révolution autour du Soleil, la Terre ne présente donc pas toujours la même configuration au soleil : on dit que l'exposition solaire de la terre change et c'est ce qui explique les saisons [14].

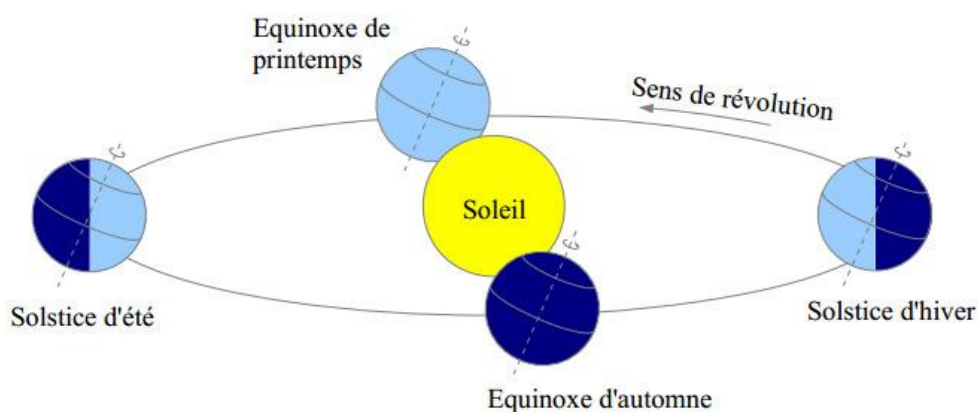


Figure III.1. Variation de position solaire par rapport à la terre [5].

III.3. LES COORDONNEES GEOGRAPHIQUE DE LA TERRE

Pour repérer un point à la surface de la terre, deux coordonnées sont nécessaires :

A. longitude

La longitude d'un lieu correspondant à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien origine le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention, on affecte du signe (+) les méridien situe à l'est, et du signe (-) les méridien situé à l'ouest .La longitude sera désigné ici par la lettre λ [5].

λ : est longitude.

B. latitude

La latitude d'un lieu correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à le pôle nord par latitude.

Et le pôle sud par la latitude (-90°). Cette convention de signe effectue le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère Nord et le signe à tous les lieux de l'hémisphère Sud. La latitude sera désignée ici par lettre ϕ [5].

ϕ : latitude.

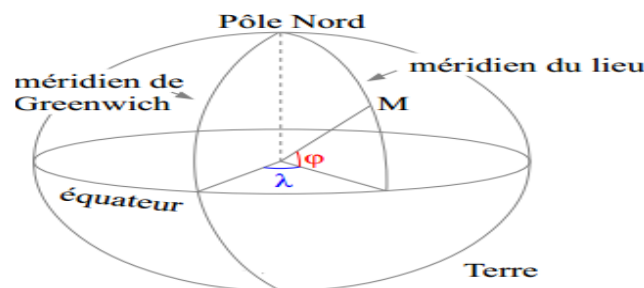


Figure III.2. Les coordonnés géographiques

III.4. LES COORDONNEES HORAIRE

A. La déclinaison solaire

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatoriale terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes ($-23^\circ 27'$ et $+23^\circ 27'$ environ) et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculé par la formule suivant :

$$\delta = 23.54 \sin(360 \cdot (284 + n) / 365)$$

n : est le nombre de jours dans l'année [5].

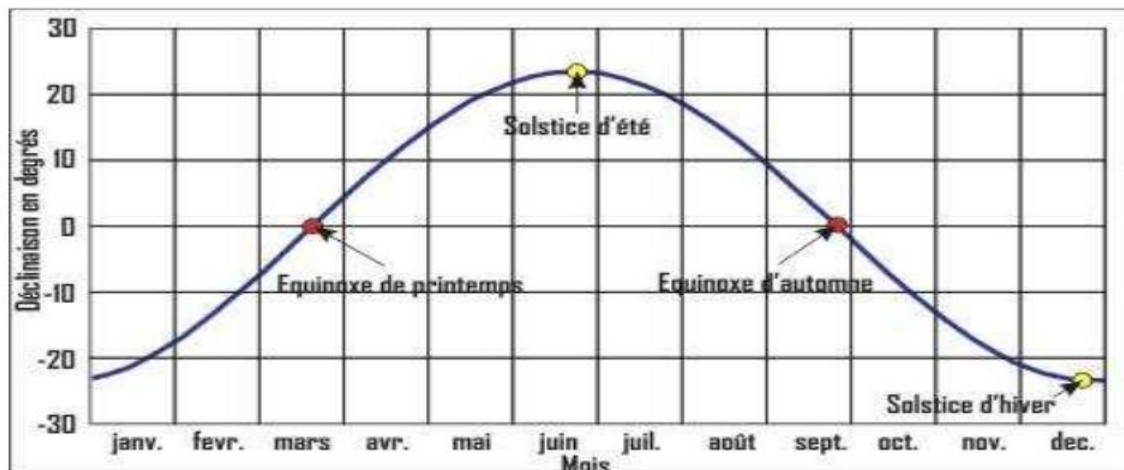


Figure III.3 : La déclinaison du soleil en fonction des jours [5].

B. Angle horaire(w)

L'angle horaire du soleil c'est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passer par direction du soleil si l'on prend comme l'origine de méridien Greenwich, l'ange horaire est compris entre 0 et 360 degrés, la valeur de l'ange horaire est nulle à midi , négative dans le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15 par heure [5].

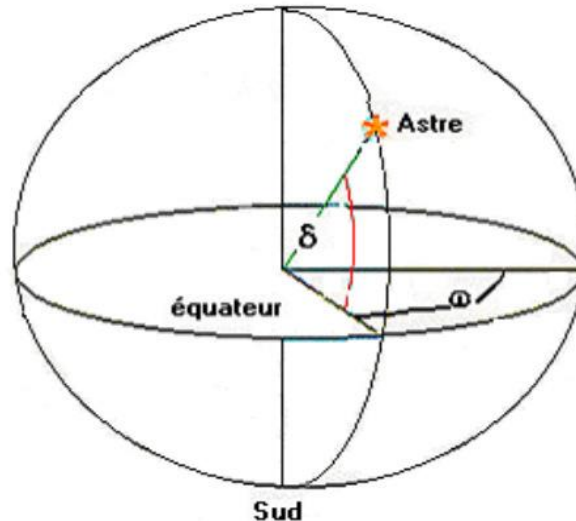


Figure III.4 : les coordonnées horaires.

III.5 DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DE SUIVEUR SOLAIRE

L'image suivante montre la structure mécanique d'un panneau solaire mobile. Ce système est constitué de deux parties mobiles :

- La première partie pour assurer le mouvement horizontal du panneau par rapport au soleil.
- La deuxième partie est pour le déplacement vertical du panneau solaire (azimut) [5].



Figure III.5 : Structure mécanique du suiveur solaire [5].

D'une manière générale, la régulation automatique de ce système, est l'ensemble des techniques qui permettent de contrôler une grandeur physique (ex. : température, vitesse, pression), afin d'avoir une puissance maximale, sans intervention humaine, pour la maintenir à une valeur donnée, appelée consigne [20]

III.6. L'ASSERVISSEMENT D'UN SERVOMECHANISME DE POSITION

III.6.1 Représentation de système servomécanisme

Le servomécanisme est un système de régulation d'un moteur électrique à courant continu à excitation séparée. C'est un des paramètres essentiels de l'étude préalable, pour un besoin électrique donné, plus d'énergie solaire reçue implique moins de panneaux solaires à installer et inversement [1].

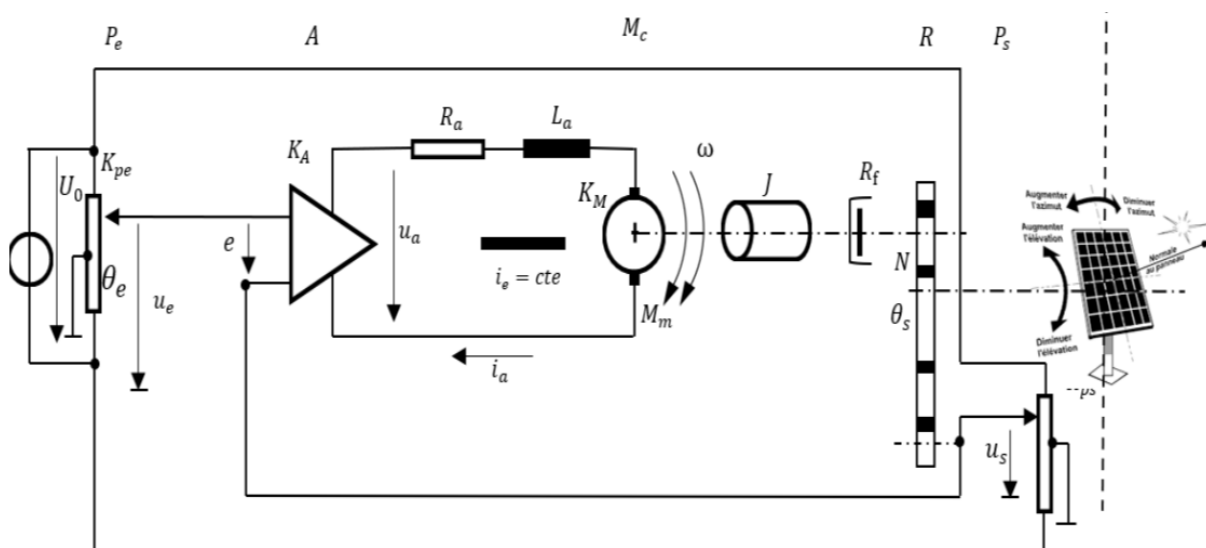


Fig.III.6 : Schéma d'un servomécanisme de position [1].

III.6.2L Les équations de système [5].

La mise en équations d'un système est une étape très importante. Pour réaliser cette modélisation on doit suivre la marche suivante :

- On décompose le système dynamique en sous-systèmes simples ;
- On met en équation chaque sous-système ;
- En allant de l'entrée du système vers la sortie.

On considère comme grandeur de référence l'image u_e de l'angle désirée θ_e et u_s comme grandeur de sortie (réglée) l'image de l'angle θ_s .

Le coefficient de proportionnalité entre la FEM $e(t)$ et la vitesse $\omega(t)$:

$$e(t) = \frac{p}{a} N n \phi(t) \quad \text{III.1}$$

$$n = \frac{\omega}{2\pi}$$

Avec

n : la vitesse en tr/s

ω : la vitesse en rd/s

N : nombres de spires

ϕ :le flux de

Donc:

$$e(t) = \frac{p}{a} N \frac{\omega}{2\pi} \phi(t) \quad \text{III.2}$$

A flux constant :

$$e(t) = \frac{p}{a} N \frac{\phi}{2\pi} \omega(t) = k_m \omega(t) \quad \text{III.3}$$

Le coefficient de proportionnalité entre le couple moteur M_m et le courant d'induite $i_a(t)$

$$p_e = EI_a = \frac{p}{a} N \frac{\phi}{2\pi} \omega I_a = k_m \omega I_a \quad \text{III.4}$$

Le couple moteur est proportionnel au courant de l'induit

$$C_m = M_m = \frac{p_e}{\omega} = k_m I_a \quad \text{III.5}$$

$$C_m(t) = M_m(t) = \frac{p_e}{\omega} = k_m I_a(t) \quad \text{III.6}$$

III.6.3 Les équations électrique [1]

L'entrée du comparateur c 'est la différence entre la tension d'entrée et la tension de sortie

$$\varepsilon = U_e(t) - U_s(t) \quad \text{III.7}$$

Le signal d'erreur obtenu est amplifié en tension et en puissance par l'amplificateur :

$$U_a = k_a \varepsilon = k_a (U_e(t) - U_s(t)) \quad \text{III.8}$$

Avec cette tension $U(t)$, on attaque l'induit du moteur à courant continu à excitation séparée qui est représenté par une résistance interne R_a , une inductance L_a et une FEM.

Ce moteur est à courant d'excitation constante, c'est-à-dire qu'il est commandé par l'induit (le circuit dont le temps de réponse est plus court) d'où l'équation électrique suivant :

$$U_a(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + e(t) \quad \text{III.9}$$

$$U_a(t) = R_a I_a(t) + L_a \frac{dI_a(t)}{dt} + k_m \omega(t) \quad \text{III.10}$$

III.6.4. Les équations mécaniques

L'équation mécanique du moteur :

$$R_f \omega + J \frac{d\omega}{dt} = C_m - C_r = M_m - M_r \quad \text{III.11}$$

Avec :

- R_f : Coefficient de frottement visqueux
- J : moment d'inertie du moteur
- ω : vitesse angulaire au radian par seconde
- C_m : couple moteur
- C_r : couple résistance

La position angulaire (θ) sera donnée en fonction de la vitesse par :

$$\omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \rightarrow \theta(t) = \int \omega(t) dt \quad \text{III.12}$$

Le passage dans le plan complexe se fait par l'application de la transformée de Laplace de ces équations. Le système suivant montre toutes les équations nécessaires pour réaliser le circuit de commande :

$$\mathbf{L} \left\{ \begin{array}{l} \varepsilon(t) = U_e(t) - U_s(t) \\ U_a(t) = K_a \varepsilon(t) \\ R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + K_m \omega(t) = U_a(t) \\ C_m(t) = K_m I_a(t) \\ R_f \omega(t) + J \frac{d\omega}{dt} = C_m - C_r \\ \theta(t) = \int \omega(t) dt \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} E(p) = U_e(p) - U_s(p) \\ U_a(p) = K_a E(p) \\ R_a I_a(p) + L_a p I_a(p) + K_m \Omega(p) = U_a(p) \\ C_m = K_m I_a(p) \\ R_f \Omega(p) + J p \Omega(p) = C_m - C_r \\ \theta(p) = \frac{\Omega(p)}{p} \end{array} \right\}$$

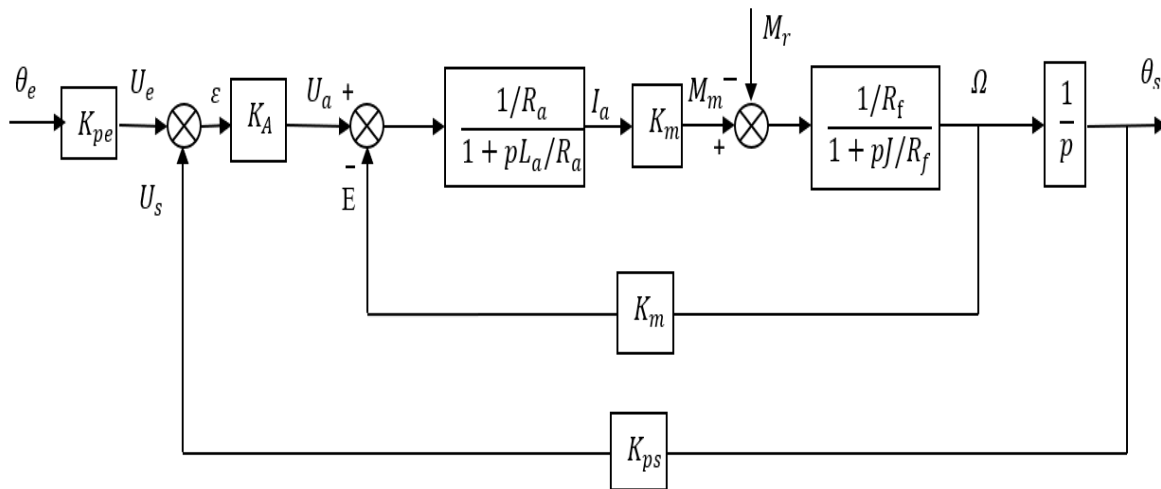
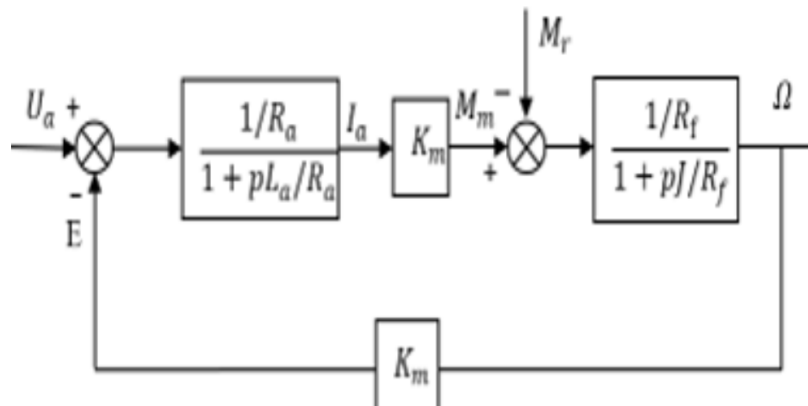
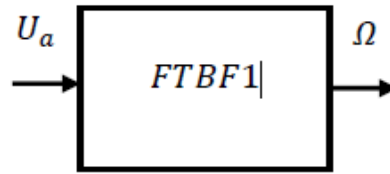


Fig.III.7 : Schéma fonctionnel détaillé de la régulation automatique de position [1].

III.6.5 Fonction de transfert de système [1].

En utilisant le schéma fonctionnel pour déterminons la fonction de transfert: On simplifiée le schéma:





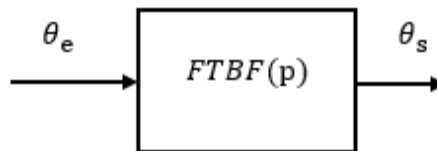
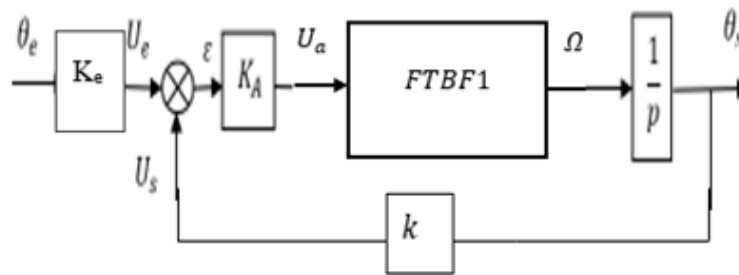
Avec: $M_r = 0$

$$FTB01 = \frac{k_m/R_a}{1 + \left(\frac{L_a}{R_a}\right)p} * \frac{1/R_f}{1 + \left(\frac{J}{R_f}\right)p} \rightarrow \frac{k_m/R_a R_f}{\left(\frac{L_a J}{R_a R_f}\right)p^2 + \left(\frac{J}{R_f} + \frac{L_a}{R_a}\right)p + 1} \quad \text{III.13}$$

$$FTB01 = \frac{k_m/R_a R_f}{Ap^2 + Bp + 1}$$

$$A = L_a J / R_a R_f \quad B = \frac{J}{R_f} + \frac{L_a}{R_a}$$

$$FTBF1 = \frac{FTB01}{1 + k_m * FTB01} \rightarrow \frac{k_m/R_a R_f}{Ap^2 + Bp + 1 + \frac{k_m^2}{R_a R_f}} \quad \text{III.14}$$



$$FTB02 = k_a * FTBF1 * \frac{1}{p} \rightarrow \frac{k_a k_m / R_a R_f}{p(Ap^2 + Bp + 1 + \frac{k_m^2}{R_a R_f})}$$

$$FTBF2 = k_e \frac{FTB02}{1 + k_m * FTB02} \quad \text{III.15}$$

$$\rightarrow FTBF(p) = \frac{k_v}{Ap^3 + Bp^2 + pC + k_v k_m}$$

$$k_e = 1 \quad \text{et} \quad k_v = \frac{k_a k_m}{R_a R_f} \quad \text{et} \quad C = \left(1 + \frac{k_m^2}{R_a R_f}\right)$$

III.6.6 les valeurs numériques

$$k_s = 1 \text{ V/rad} \quad k_m = 1 \text{ Nm s/A} \quad L_a = 0.1 \text{ H} \quad J = 10 \text{ kgm}^2$$

$$R_a = 5\Omega \quad R_f = 2 \text{ Nm s/rad}$$

K_a = gain de l'amplificateur

III.6.7. L'équation de caractéristique de système

L'application numérique nous permet de déterminer l'équation caractéristique du système :

$$0.1 * p^3 + 5.02 * p^2 + 1.1 * p + 0.1k_a$$

III.6.8 Critère de stabilité de Routh Hurwitz

On trouve le premier terme (B1) de la première colonne de la table de Routh Hurwitz en fonction de gain k_a [1].

p^3	0.1	1.1
p^2	5.02	$0.1 * k_a$
p^1	B1	0
p^0	C1	0

$$B1 = \frac{(5.02 * 1.1) - (0.1 * 0.1 * K_a)}{5.02}$$

III.6.9 La condition de la stabilité

Pour que le système soit stable il faut que les termes de la première colonne de la table de Routh soient de même signe (strictement positif), ce qui nous donne la condition de stabilité suivante [1].

$$0 < k_a < 552.2 = kcr$$

Nous avons dans la marge de stabilité si : $k_a = kcr$

III.6.10 Tableau de Routh pour plusieurs valeurs de k_a

Pour faire le tableau de Routh pour plusieurs valeurs de k_a (gain d'amplificateur), nous notons un changement de signe pour $k_a = 570 > k_{cr}$.

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*K_a)}{5.02}$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*1)}{5.02} = 1.0980$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*3)}{5.02} = 1.0940$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*8)}{5.02} = 1.0841$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*10)}{5.02} = 1.0801$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*30)}{5.02} = 1.0402$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*70)}{5.02} = 0.9606$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*100)}{5.02} = 0.9008$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*400)}{5.02} = 0.3032$$

$$B_1 = \frac{(5.02*1.1) - (0.1*0.1*570)}{5.02} = -0.0354$$

Ka	1	3	8	10	30	70	100	400	570
p¹	1.0980	1.0940	1.0841	1.0801	1.0402	0.9606	0.9008	0.3032	-0.0354
p⁰	1	3	8	10	30	70	100	400	570

Tableau III.1 : Tableau de Routh

Dans le tableau III.1, nous résumons les valeurs de la première colonne de la table de Routh, pour plusieurs valeurs du gain d'amplificateur k_a . Nous avons remarqué un changement de signe pour $k_a = 560$ (supérieur à k_{cr}). Dans ce cas on peut dire que le système sera instable à partir cette valeur (valeur critique).

III.7 CONCLUSION

Dans le présent chapitre, nous nous sommes intéressés à quelques généralités sur les positions solaires et certains types de coordonnées nécessaires pour étudier le mouvement du soleil. Nous avons présenté la structure du suiveur solaire et son routage horizontalement et verticalement. Puis nous avons expliqué le schéma du système, les lois et relations liées aux angles électriques et mécaniques pour l'automatisation du système.

Un peu de détail, a été présenté, sur le schéma bloc du système et la fonction de transferts et quelques données numériques pour l'homogénéité des grandeurs, et le critère de Roth pour la stabilité du système.

Nous avons présenté les éléments intervenants dans le système asservi du servomécanisme, entre autres, chaîne d'action, de réaction, boucle ouverte et boucle fermée ainsi des notions sur la modélisation des systèmes par des équations différentielles et à travers la de fonction transfert. L'étude d'un système asservi passe par une analyse temporelle et fréquentielle qui permettent de se prononcer sur les performances du système entre autres la stabilité, la précision et la rapidité.

Chapitre IV

Simulation et résultats

IV.1 INTRODUCTION

La simulation des phénomènes est un outil utilisé dans le domaine de la recherche et du développement. Elle permet d'étudier les réactions d'un système à différentes contraintes en dispensant de l'expérimentation [14]. La simulation des systèmes d'énergie solaire varie selon la zone géographique et selon le cahier des charges demandé par le client, nous avons donc pris dans notre travail un exemple d'étude et de simulation d'un panneau solaire rotatif automatiquement verticalement et horizontalement, où nous allons intéresser par l'étude de l'asservissement on se basant sur l'étude de la stabilité et de la précision du système.

IV.1.1 Description du système



Figure IV.1. Suiveur solaire

Le suiveur solaire est un système automatique qui s'appuie sur le suivi de la position du soleil pour générer une puissance maximale.

IV.2.COMMANDE DE MAXIMISATION DE PUISSANCE

Le système photovoltaïque est doté d'un étage d'adaptation DC-DC entre le module photovoltaïque (MPV) et la charge. Cette structure correspond à un système autonome. Il permet le plus souvent d'alimenter une batterie servant de stock d'énergie ou une charge qui ne supporte pas les fluctuations de tension. Cet étage d'adaptation dispose d'une commande MPPT, qui lui permet de rechercher le point de puissance maximal (PPM) que peut fournir un ou plusieurs modules photovoltaïques. L'algorithme de recherche MPPT peut être plus ou moins complexe en fonction du type d'implémentation choisi et des performances recherchées. La commande MPPT est une partie essentielle dans les systèmes photovoltaïques. Elle consiste en l'ajustement du convertisseur afin de récupérer le maximum d'énergie produite par le panneau photovoltaïque, c'est à dire minimiser les pertes d'énergie. Le modèle de la caractéristique courant-tension est non linéaire, avec des contraintes de

température et d'ensoleillement qui varient d'une manière aléatoire ce qui nous confronte à un problème d'optimisation non linéaire[15].

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées, on cite[15-28] :

- La méthode d'ajustement de courbe
- La méthode de circuit ouvert de générateur
- La méthode de court-circuit
- La méthode perturbation & observation (P&O)
- La méthode par incrémentation de conductance (IC)
- Les méthodes avancées (logique floue, réseaux de neurones)
- La méthode look-up-table

Ces techniques se différencient entre eux par leur complexité, nombre de capteurs requis, la vitesse de convergence, coût, rendement et domaine d'application.

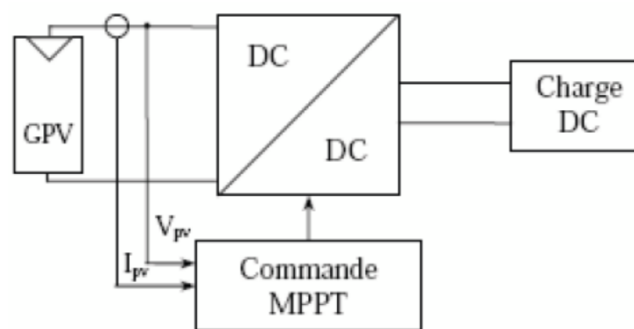


Figure IV.2 Chaîne de conversion d'énergie solaire comprenant une commande MPPT [15].

IV.3. LA COMMANDE (MPPT)

Comparent plusieurs algorithmes MPPT selon leurs dépendances des paramètres des panneaux solaires et de leurs complexités d'implémentation.

Par définition, une commande MPPT, associée à un étage intermédiaire d'adaptation (commande des convertisseurs), permet de faire fonctionner un générateur PV de façon à produire en permanence le maximum de sa puissance. Ainsi, quelles que soient les conditions météorologiques (température et irradiation), et quelle que soit la tension de la batterie. La commande MPPT du convertisseur place le système au point de fonctionnement maximum (V_{OPT} , I_{OPT}). Elle est basée généralement sur l'ajustement du rapport cyclique du convertisseur statique jusqu'à se placer sur le PPM. Différentes méthodes MPPT ont été publiées dans la littérature afin d'obtenir un fonctionnement optimal. Beaucoup de chercheurs s'intéressent au

rappel et à la comparaison des différentes techniques MPPT qui existent dans la littérature. ESRAM et CHAPMAN [15-2].

IV.4. PARTIE SIMULATION (MATLAB_SIMULINK)

IV.4.1 Test de schéma fonctionnel de position

Cela se fait en définissant la valeur numérique requise et en effectuant des simulations pour assurer que le système arrive finalement à cette valeur.

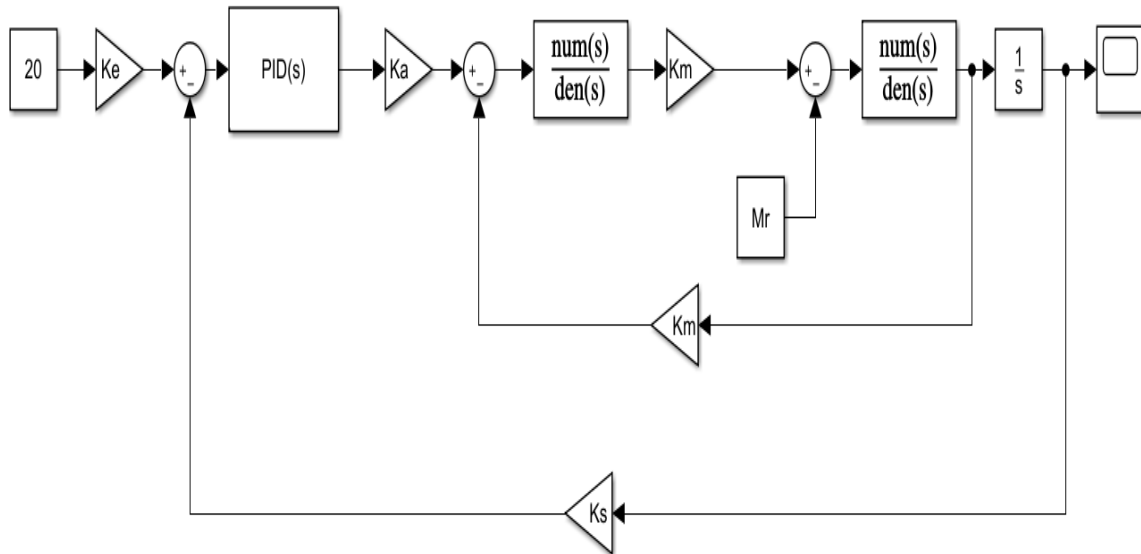


Figure IV.3.Simulation de schéma de position

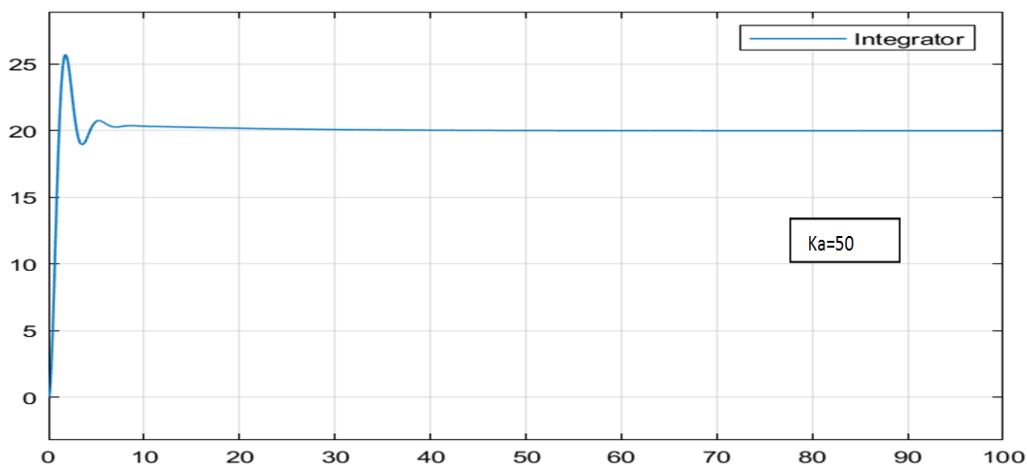


Figure IV.4. Scoop de schéma de position de valeur fixe(20) et le gain $K_a=50$

On remarque que la courbe revient à la même valeur désirée, Cela indique que la simulation se passe bien, car la courbe est l'image de valeur de l'entrée.

Pour $K_a=552.2$

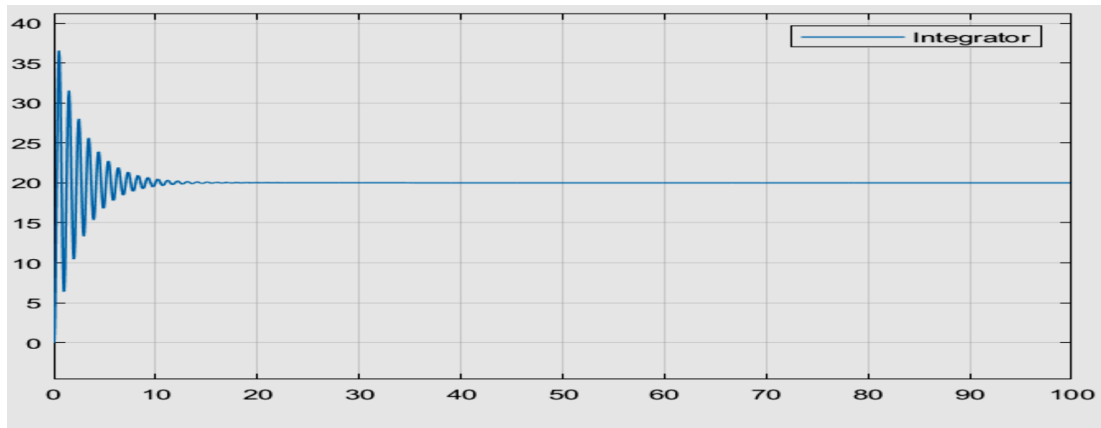


Figure IV.5. Scoop de schéma de position de valeur fixe(20) et le gain $K_a=552.2$

IV.4.2.Simulation globale de système servomécanisme de position

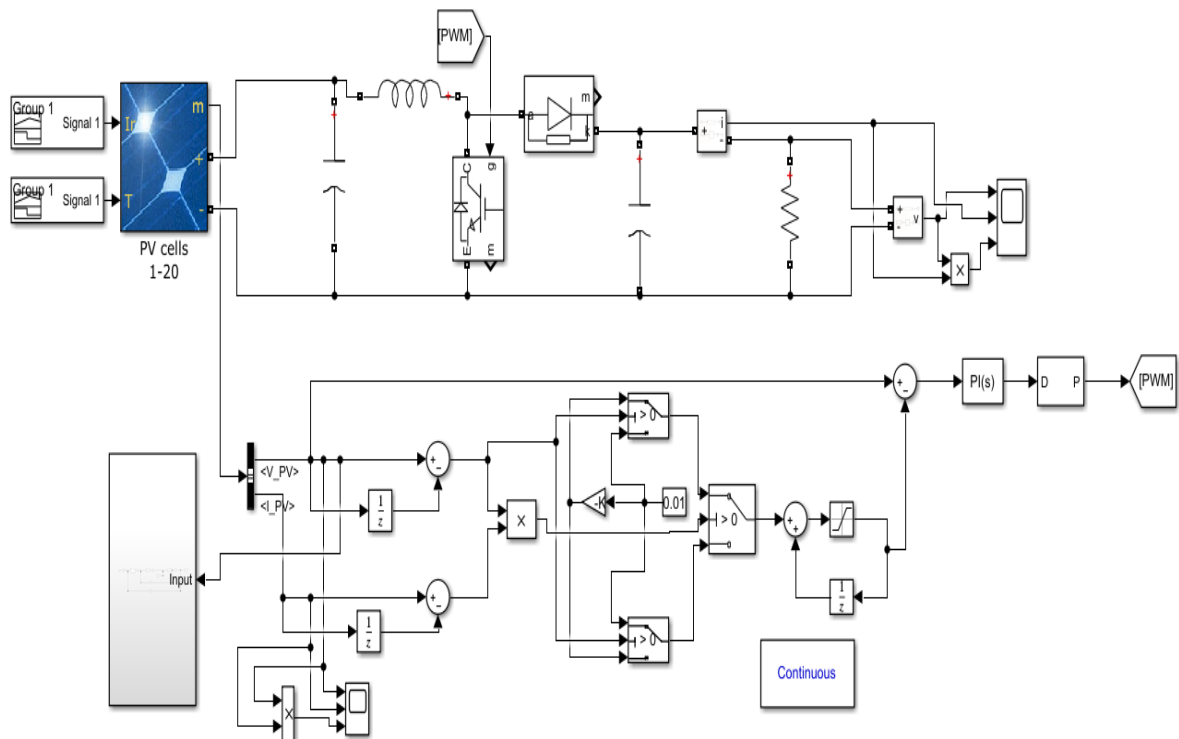


Figure IV.6.Simulation globale de système servomécanisme de position

Ce schéma se compose d'un panneau solaire et de deux entrées variables pour la lumière et la température. Circuit de commande MPPT type (P & O) et circuit de servomécanisme de position qui fonctionne en tension.

La figure suivante montre la simulation du schéma fonctionnel de position dans le système et représente l'image de la tension électrique sortant du panneau solaire

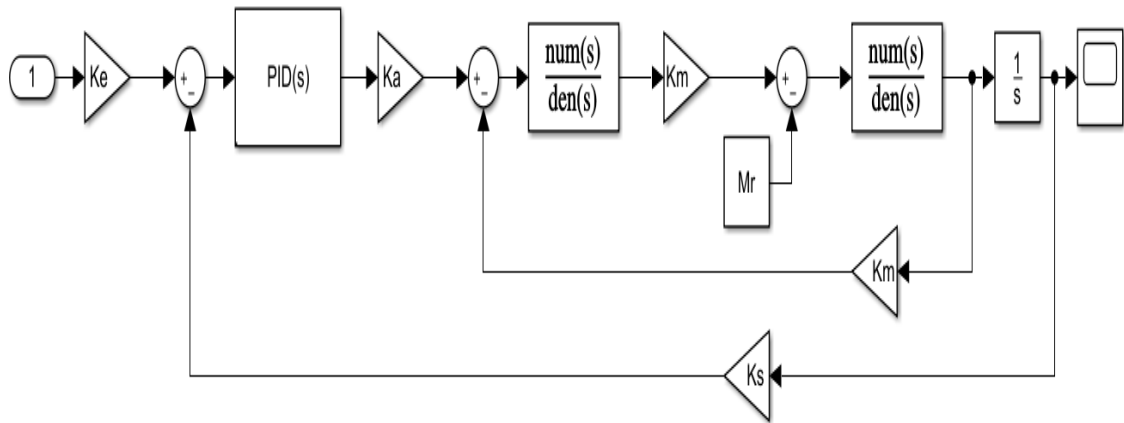


Figure IV.7. Schéma fonctionnel de position dans de système

IV.4.3 Effet de variation d'éclairage et de température

Pour mener une bonne étude et proche de la réalité. Nous suggérons de tester le changement climatique sur la performance du système. La figure suivante montre une proposition de changement de l'éclairage et la température.

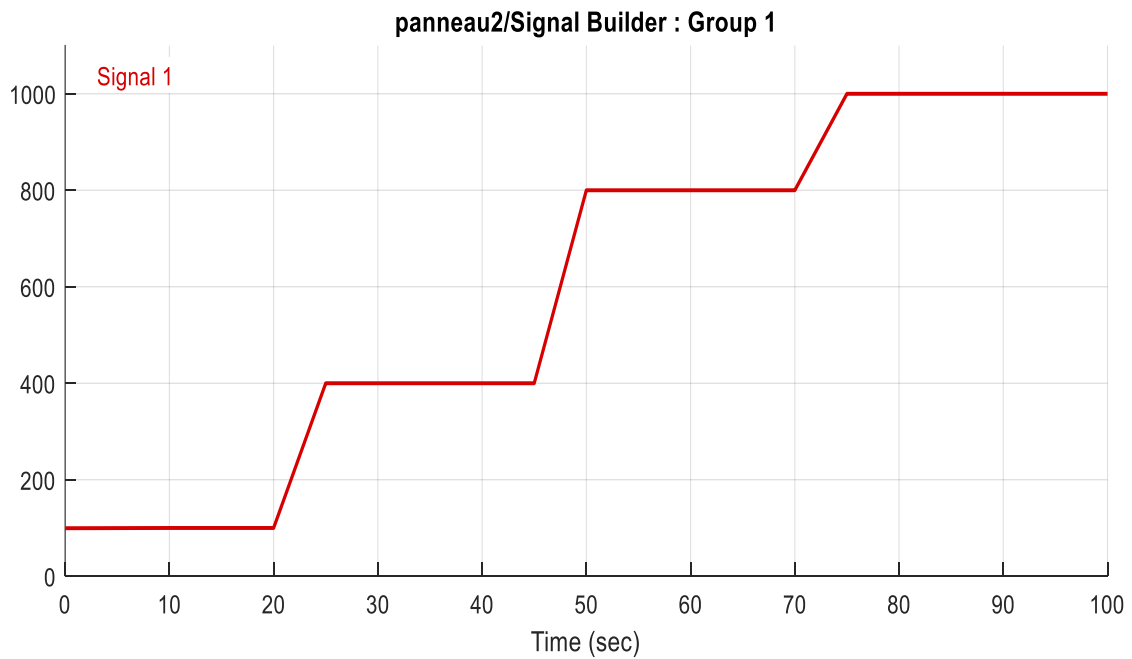


Figure IV.8. Changement d'éclairage

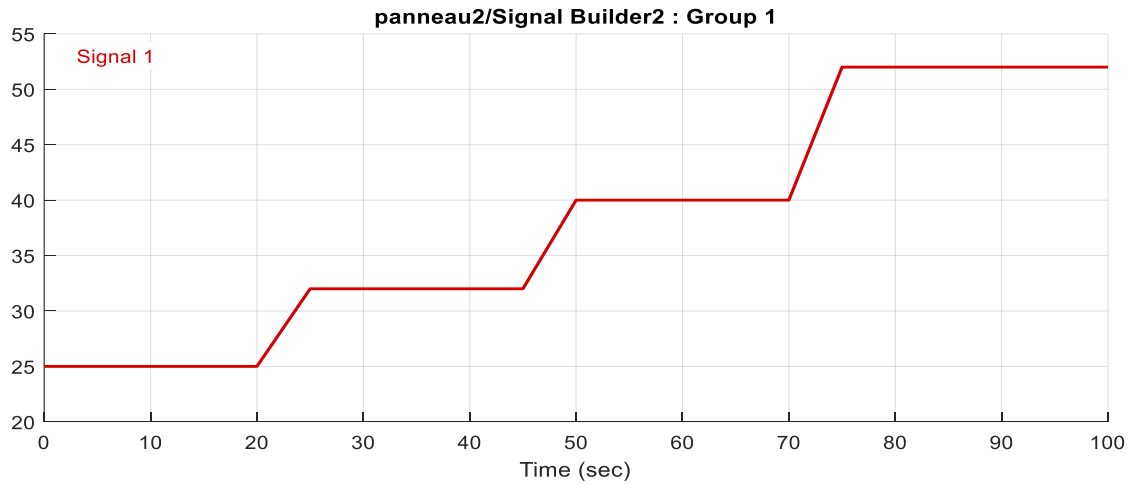


Figure IV.9.Changement de température

La figure suivante montre l'effet de l'éclairage et de la température sur les grandeurs électriques du panneau solaire commandé par (P & O) :

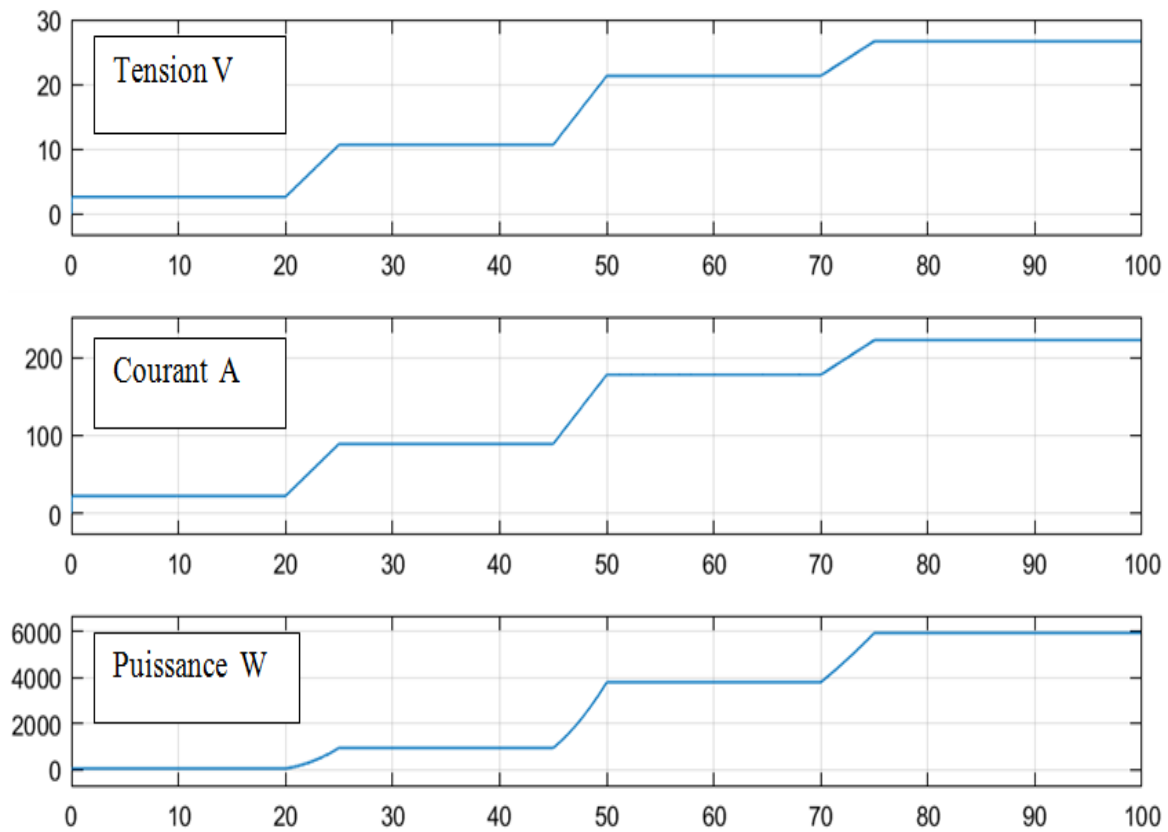


Figure IV.10.Changement de tension, de courant et la puissance par l'effet du changement de la lumière et de la température

La figure suivante montre l'effet de l'éclairage et de la température sur la commande MPPT :

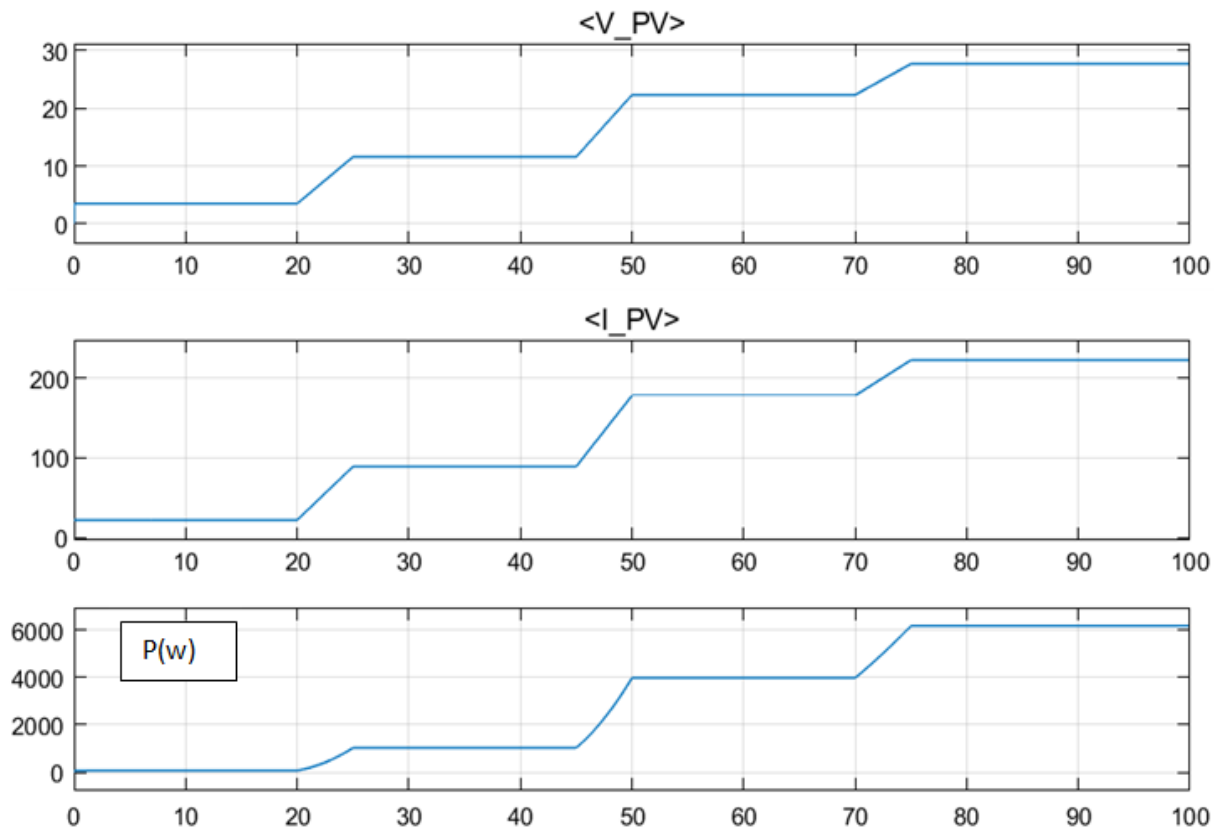


Figure IV.11 Changement de tension et de courant et la puissance Par L'effet du changement de lumière et de température dans la commande MPPT

La figure suivante (IV.12) montre le résultat obtenu par le servomécanisme. D'après cette figure on peut constater que le système proposé est fonctionné dans des bonnes conditions.

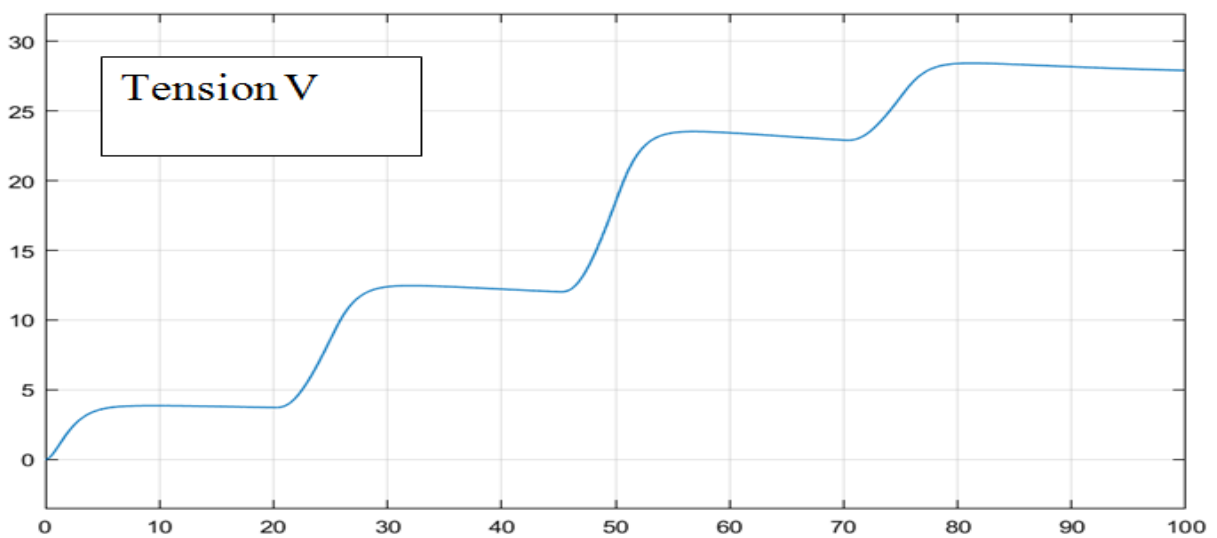


Figure IV.12. Variation de la tension de système

IV.5. RESULTATS GRAPHIQUES D'ASSERVISSEMENT

IV.5.1 La position des pôles

La fonction de transfert en boucle ouverte du système est :

$$FTBO(p) = \frac{0.1k_a}{0.1 * p^3 + 5.02 * p^2 + 1.1 * p}$$

Pour extraire les positions des pôles on doit utiliser la loi de lieu d'Evans (lieu des racines) pour k_a variant entre zéro et l'infini et confirmer la valeur du gain critique k_{cr} pour lequel des deux pôles passent dans le demi plan droit et qui est $k_{cr}=552.2$.

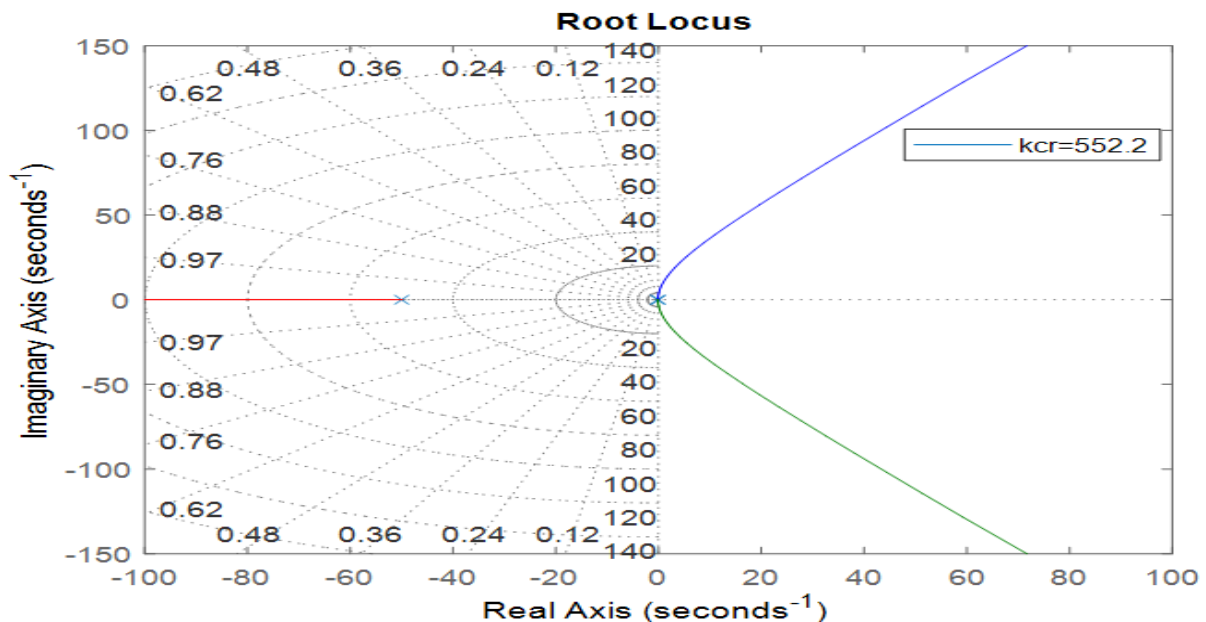


Figure IV.13. Lieu d'Evans du système

On utilise l'analyse temporelle pour déterminer les principales performances du système, à savoir la stabilité, la précision statique et dynamique et la rapidité.

IV.5.2. La réponse indicielle

$$e(t) = u(t) \rightarrow s(t) = L^{-1} \left[\frac{FTBF2}{p} (p) \right] = L^{-1} \left[\frac{1}{p} * \frac{0.1k_a}{0.1 * p^3 + 5.02 * p^2 + 1.1 * p + 0.1k_a} \right]$$

La réponse indicielle est la réponse temporelle produite par une entrée égale à l'échelon unité.

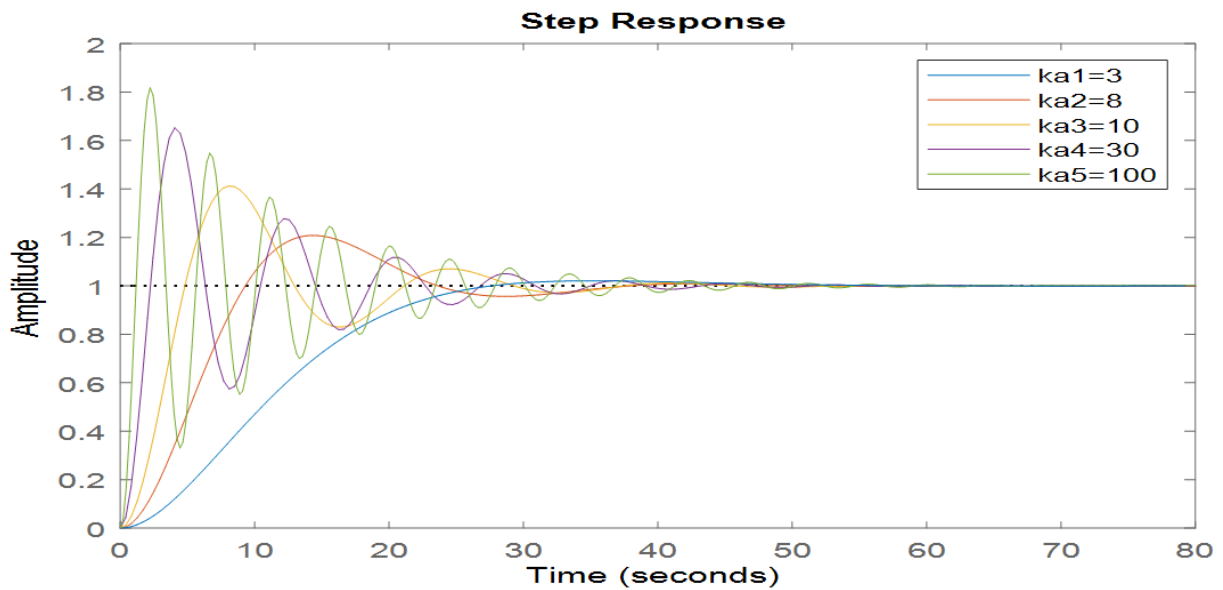


Figure IV.14.L'effet de k_a sur le système

Sur la **Figure(IV.14)**. Nous avons représenté la réponse indicielle pour plusieurs valeurs du gain k_a . On note que pour toutes les valeurs de k_a , la réponse indicielle tend vers sa valeur du régime permanent.

La **Figure (IV.15)** représente la réponse indicielle du système pour $k_a=3$; elle nous permet de déterminer :

- Le temps de réponse à $\pm 5\%$: 29.5 s
- Le dépassement (D %): 26.6%
- Le temps du pic (t_{pic}): 11.6 s
- Le temps de montée (t_m): 5

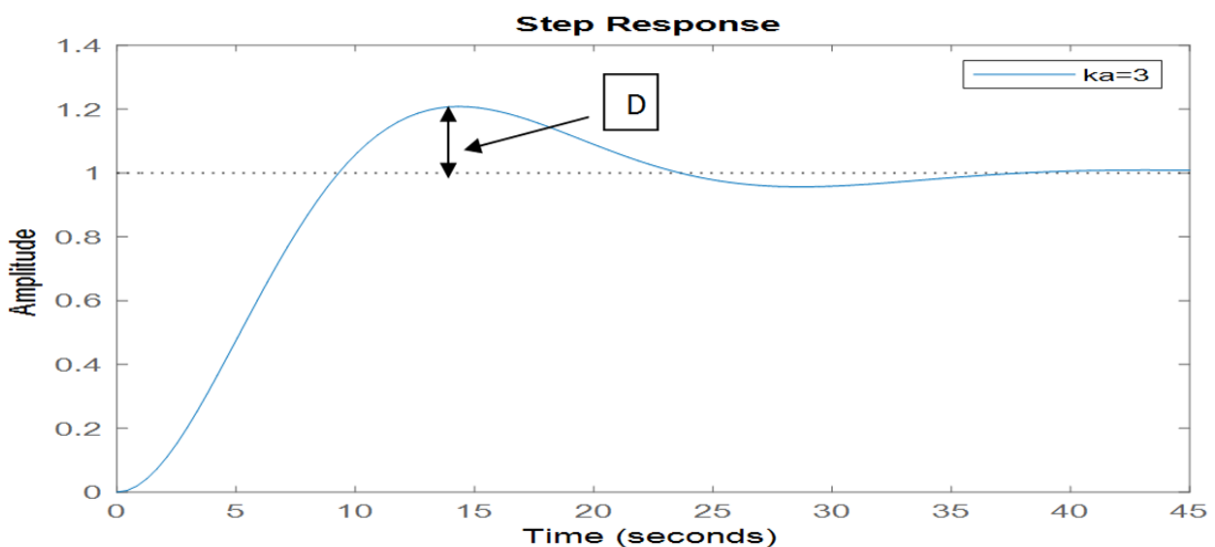


Figure IV.15.Réponse indicielle de $k_a = 3$

IV.5.3. La réponse impulsionnelle

On applique à l'entrée du système une impulsion de Dirac.

$$e(t) = \delta(t) \rightarrow s(t) = L^{-1}[FTBF2(p)] = L^{-1}\left[\frac{0.1k_a}{0.1 * p^3 + 5.02 * p^2 + 1.1 * p + 0.1k_a}\right]$$

On étudie la stabilité du système à travers la réponse impulsionnelle.

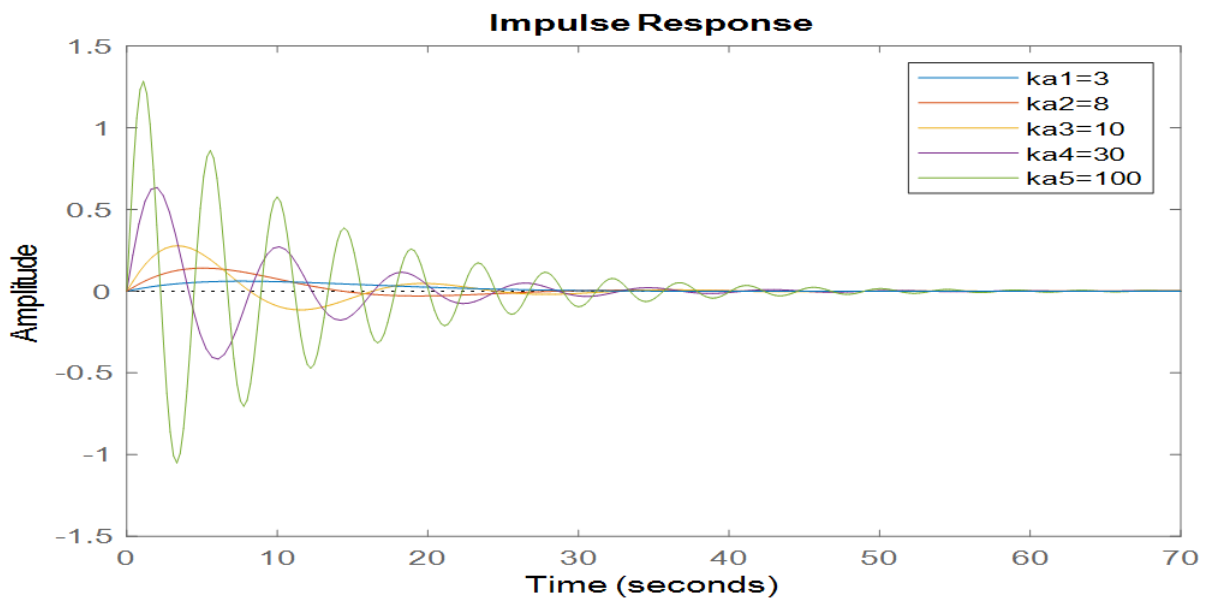


Figure IV.16. Réponse impulsionnelle

On dit qu'un système dynamique linéaire est stable si l'écart de sa position d'équilibre par une sollicitation extérieure, revient à cette position d'équilibre une fois que cette sollicitation a cessé. Nous avons représenté la réponse impulsionnelle pour plusieurs valeurs de \$k_a\$.

On remarque sur la **Figure (IV.16)** que le système revient à sa position d'équilibre (régime permanent) après un temps final, donc le système est stable.

IV.5.6. La réponse en vitesse

On applique à l'entrée du système une rampe.

$$\begin{aligned} e(t) = r(t) \rightarrow s(t) &= L^{-1}\left[\frac{FTBF2}{p^2}(p)\right] \\ &= L^{-1}\left[\frac{1}{p^2} * \frac{0.1k_a}{0.1 * p^3 + 5.02 * p^2 + 1.1 * p + 0.1k_a}\right] \end{aligned}$$

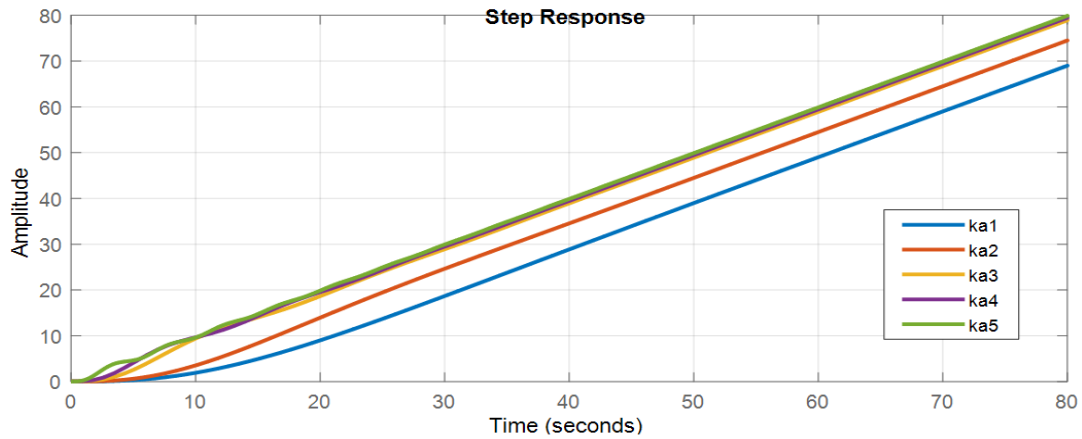


Figure IV.17. Réponse en vitesse

On utilise la réponse en vitesse pour la détermination du signal d'erreur en vitesse. Sur la **Figure (IV.17)**, nous avons représenté la réponse en vitesse du système pour plusieurs valeurs de k_a (gain de l'amplificateur). Pour un $k_a = 2$, on trouve l'erreur $\varepsilon = 0.5$ qui est l'écart entre le signal de sortie et celui de l'entrée, on peut dire qu'elle est acceptable.

IV.5.7 Analyse fréquentielle

C'est l'analyse des systèmes dynamiques par l'étude de la réponse à une excitation sinusoïdale. L'étude de la stabilité des systèmes et leurs synthèses (correction éventuelle) peuvent être effectuées à partir des lieux de transfert en boucle ouverte tracés, selon le cas, dans les plans de Bode, de Nyquist et de Black.

IV.5.8 Réponse harmonique

La réponse harmonique d'un système linéaire à un signal sinusoïdal de pulsation ω et d'amplitude unité est un signal sinusoïdal de même pulsation, dont l'amplitude et la phase sont le module et l'argument de la transmittance harmonique $F(j\omega)$ en boucle ouverte.

La transmittance harmonique, aussi appelée fonction de transfert d'un système, est le rapport désigné par $A(\omega)$ et le déphasage désigné par $\varphi(\omega)$ entre les signaux sinusoïdaux d'entrée et de sortie.

$$F(j\omega) = \frac{S(j\omega)}{E(j\omega)} = A(\omega)\varphi(\omega)$$

$$F(P) = \frac{Kv}{AP^3 + BP^2 + CP}$$

$$F(j\omega) = \frac{Kv}{Aj\omega^3 + Bj\omega^2 + Cj\omega} = \frac{Kv}{-B\omega^2 + j\omega(C - A\omega^2)}$$

$$F(j\omega) = \frac{Kv(-B\omega^2 - j\omega(C - A\omega^2))}{-B\omega^2 + j\omega(C - A\omega^2)(-B\omega^2 - j\omega(C - A\omega^2))}$$

$$F(j\omega) = \frac{Kv(-B\omega^2 - j\omega(C - A\omega^2))}{\omega^2(\omega^2 B^2 + (C - A^2\omega^2))}$$

$$F(j\omega) = -\frac{KvB}{D(\omega)} - \frac{Kv(\frac{C}{\omega} - A\omega)}{D(\omega)}$$

Avec : $D(\omega) = \omega^2(A^2\omega^2 + B^2 + 2AC) + C^2$

$$\mathbf{Re} = -\frac{KvB}{D(\omega)} \quad \mathbf{Im} = \frac{Kv(\frac{C}{\omega} - \omega A)}{D(\omega)}$$

IV.5.9 Diagramme de Bode

Le diagramme de Bode d'un système linéaire est représenté par :

- Module $A(\omega)$ en décibel
- L'argument $\varphi(\omega)$ en degré de $(j\omega)$

Où « ω » est reporté en échelle logarithmique.

Représentation du module

A. : (le gain)

$$A_{dB}(\omega) = 20 \log |F(j\omega)|$$

$$|F(j\omega)|_{dB} = 10 \log_{10} \left[\left(-\frac{KvB}{D(\omega)} \right)^2 + \left(-\frac{Kv(\frac{C}{\omega} - \omega A)}{D(\omega)} \right)^2 \right]$$

B. Représentation de la phase

$$\varphi = \text{Arg}(F(j.\omega)) = \text{arctg} \left[\frac{-\frac{Kv(\frac{C}{\omega} - \omega A)}{D(\omega)}}{-\frac{KvB}{D(\omega)}} \right] = \text{Arctg} \left[\frac{Kv(\frac{C}{\omega} - \omega A)}{KvB} \right]$$

Pour tracer les lieux de Bode gain et phase, on fait varier la pulsation(ω) de zéro à l'infini et on calcule les valeurs du gain et de la phase.

ω	0	ωc	$\omega \pi$	∞
$A \text{ dB}(\omega)$	$+\infty$	0	Am	$-\infty$
$\varphi(\omega)$	0	φm	$-\pi$	$-3\pi/2$

Tableau IV.1 Quelques valeurs du gain et de la phase pour tracer le lieu de Bode

Sur le tableau IV.1 nous avons résumé les valeurs de la marge de gain et la marge de phase pour plusieurs valeurs du gain k_a . On remarque que pour ($k_a < k_{cr}$) on trouve des marges de gain et de phase acceptable.

Ka	1	2	10	20	552.2	10000
Am	54.8	48.8	34.8	28.4	0	-25.2
φm	68.6	55.5	27.1	19	0	-14.6

Tableau IV.2 Marge de phase et marge de gain pour plusieurs valeurs de k_a (Bode)

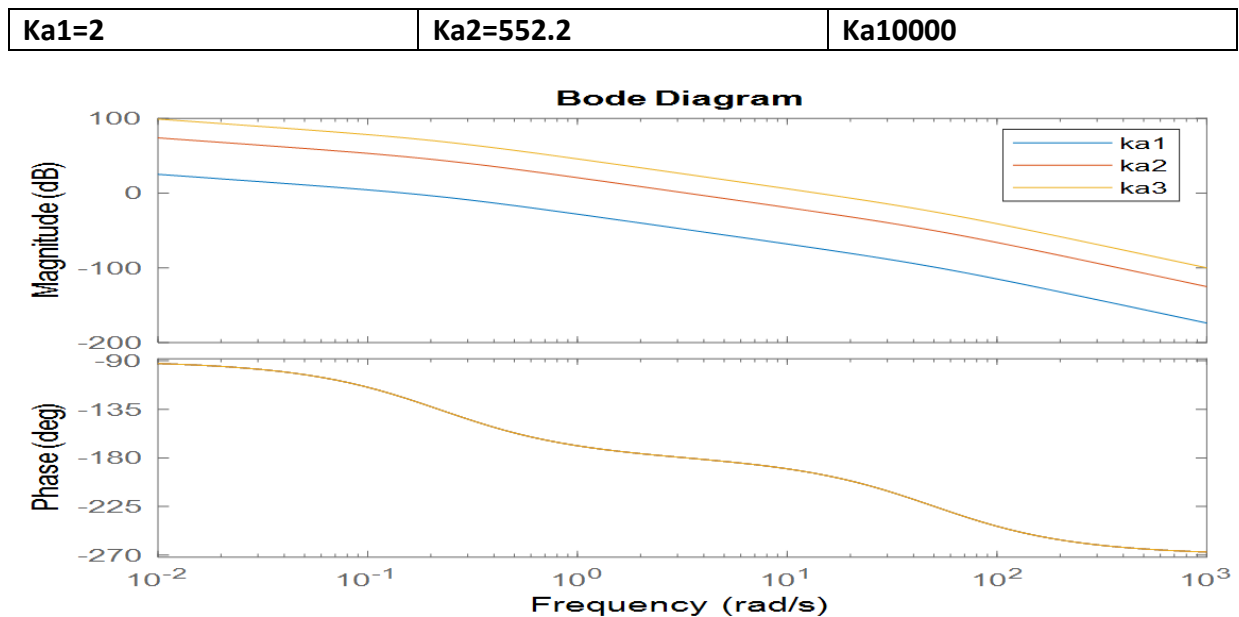


Figure IV.18. Diagramme de Bode

Dans la figure précédente nous avons représenté le lieu de Bode (amplitude et phase) pour trois valeurs du gain d'amplificateur (inférieur, égale et supérieur au gain critique k_{cr}), relatif à notre système. Nous remarquons que la phase à la fréquence de coupure $\varphi(\omega c)$ est :

$\Phi(\omega c) > -\pi$ pour $k_a < k_{cr}$; donc le système est stable en boucle fermée.

$\Phi(\omega c) = -\pi$ pour $k_a = k_{cr}$; donc le système est à la limite de stabilité.

$\Phi(\omega c) < -\pi$ pour $k_a > k_{cr}$; donc le système est instable en boucle fermée.

IV.5.10. Diagramme de Nyquist

Le lieu de Nyquist d'un système linéaire de transmittance ($F(j\omega)$) est le lieu des points définis en coordonnées polaires par un rayon vecteur de longueur $A(\omega) = |F(j\omega)|$ et par un angle polaire $\varphi(\omega) = \text{Arg}[F(j\omega)]$ pour ω variant de zéro à l'infini, le lieu est gradué en valeurs de ω . Il est aussi défini en coordonnées cartésiennes par le lieu des points défini par une ordonnée égale à $\text{Im}(F(j\omega))$ et une abscisse égale à $\text{Re}(F(j\omega))$ pour ω variant de zéro à l'infini.

$$F(j\omega) = -\frac{K_v B}{D(\omega)} - j \frac{K_v (\frac{C}{\omega} - \omega A)}{D(\omega)}$$

$$\text{Re}(\omega) = -\frac{K_v B}{D(\omega)} \quad \text{Im}(\omega) = -\frac{K_v (\frac{C}{\omega} - \omega A)}{D(\omega)}$$

Pour tracer des lieux de Nyquist de ce système on fait varier (ω) de zéro à l'infini et on calcule à chaque fois, $\text{Re}(\omega)$ et $\text{Im}(\omega)$ pour plusieurs valeurs du gain k_a .

ω	0	ω_c	ω_π	∞
$\text{Re}(\omega)$	k_a	$\text{Re}(\omega_c)$	A_π	0
$\text{Im}(\omega)$	$-\infty$	$\text{Im}(\omega_c)$	0	0

Tableau IV.3 Quelques valeurs pour tracer le lieu de Nyquist

Sur le tableau IV.3 nous avons résumé les valeurs de la marge de gain et la marge de phase pour plusieurs valeurs du gain k_a . On remarque que :

- Pour $k_a < k_{cr}$ on trouve des marges de gain et de phase acceptables.
- Pour $k_a = k_{cr} = 552.2$ on trouve des marges de gain et de phase nulles.
- Pour $k_a > k_{cr}$ on trouve des marges de gain et de phase négatives.

Ka	1	2	10	20	552.2	10000
Am	54.8	48.8	34.8	28.4	0	-25.2
φ_m	68.6	55.5	27.1	19	0	-14.6

Tableau IV.4. Marge de phase et marge de gain pour plusieurs valeurs de k_a (Nyquist)

Ka1=1	Ka2=2	Ka3=10	Ka4=20	Ka5=100
--------------	--------------	---------------	---------------	----------------

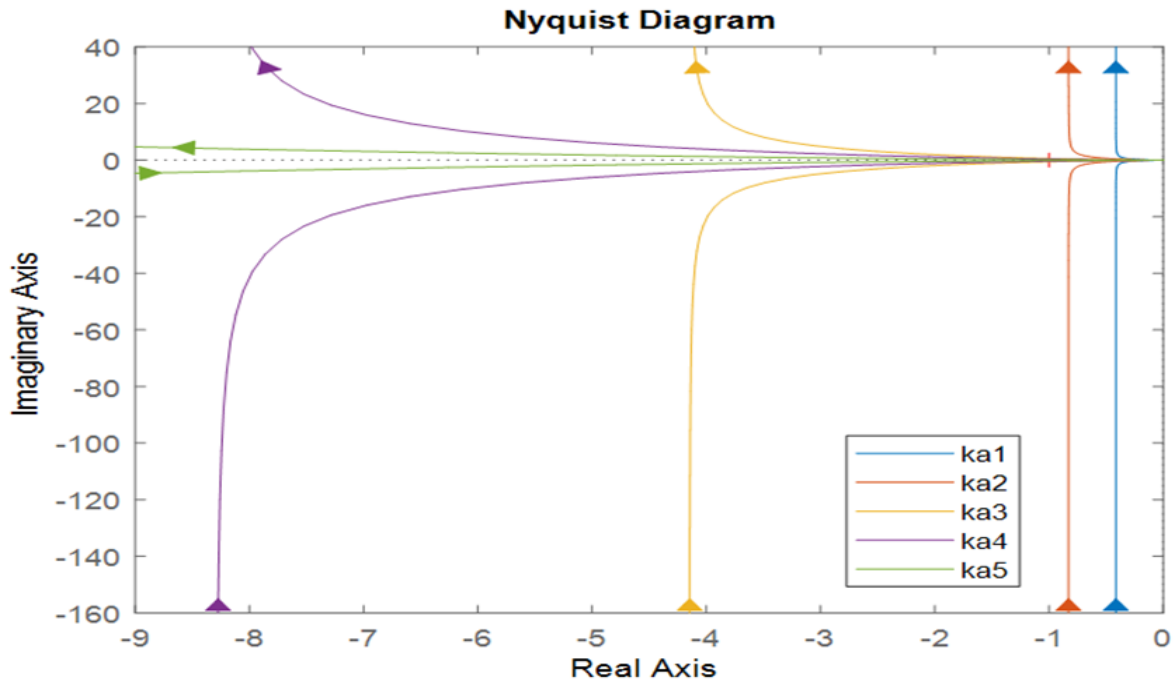


Figure IV.19Lieu de Nyquist du système

IV.5.11Diagramme de Black

Le lieu de Black d'un système linéaire de transmittance ($j\omega$) est le lieu des points définis en coordonnées cartésiennes par une ordonnée égale au gain logarithmique en décibels $AdB(\omega) = 20 \text{ Log}|F(j\omega)|$ et une abscisse égale à la phase $\varphi(\omega) = \text{Arg}[F(j\omega)]$ en degrés pour ' ω ' variant de zéro à l'infini, le lieu est gradué en valeurs de ' ω '.

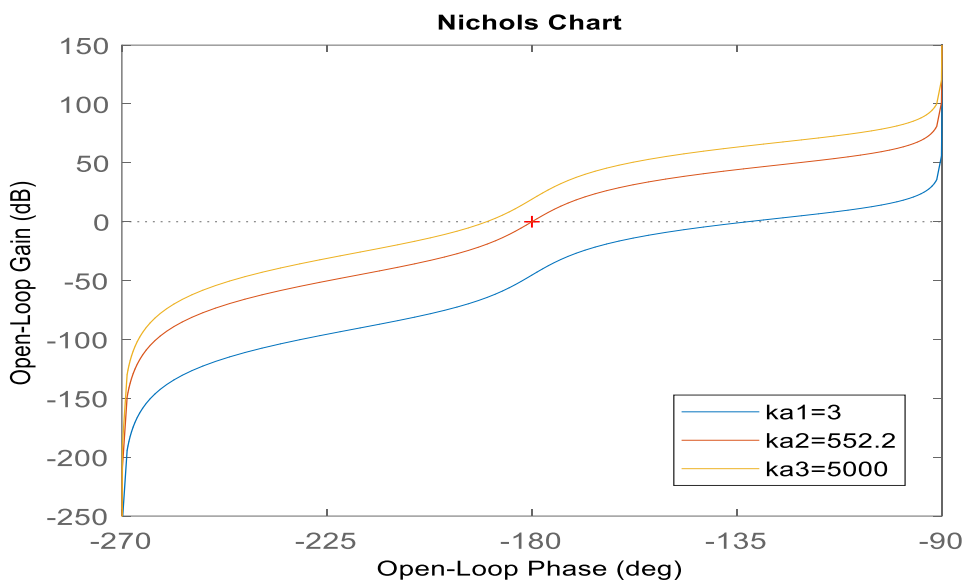


Figure IV.20.Lieu de Black pour trois valeurs de ka

IV.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous nous sommes intéressés à l'asservissement d'un panneau solaire. Pour cela nous avons procédé à la modélisation d'un servomécanisme de position permettant au panneau solaire de suivre la position du soleil.

Cette modélisation passe par la mise en équations de tous les éléments intervenant dans le système (moteur à courant continu, comparateur amplificateur.....). Ceci nous a permis de représenter le modèle des équations différentielles, puis par une fonction de transfert.

Nous avons ensuite procédé à l'analyse dans le domaine temporel et fréquentiel. Les résultats de l'analyse temporelle, par la détermination des réponses indicielle, impulsionnelle et en vitesse, nous ont permis de nous prononcer sur les performances (stabilité, rapidité, et précision) de notre système.

Les résultats de l'analyse fréquentielle, par la détermination des réponses à une excitation sinusoïdale en boucle fermée et représentées dans les quatre diagrammes (Evans, Bode, Nyquist et Black-Nicols) nous ont permis de statuer sur la stabilité du système en boucle fermée et de déterminer sa marge de gain et de phase.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

Dans le présent travail, nous avons intéressé à l'étude par modélisation et par simulation d'un panneau solaire mobile (suiveur solaire), afin de produire une puissance maximale. Pour valoriser notre travail et d'éviter la répétition des mêmes travaux, nous avons focalisé nos efforts à l'étude d'asservissement du système proposer afin d'étudier leur performances.

Pour se faire nous avons commencé ce travail par un aperçu sur les énergies renouvelables. Pour cela un aperçu sur le principe de fonctionnement d'un les panneaux solaires, a été présenté. Une régulation automatique a été résumée dans le but de présenter l'asservissement d'un système suiveur solaire.

Le troisième chapitre nous avons présenté un peu de détail, sur le fonctionnement d'un panneau solaire orientable selon deux directions (élévation et azimuth). Dans le but d'étudier les performances d'un suiveur solaire, la modélisation du ce système passe obligatoirement par une mise en équation systématique. Cette mise en équation nous a ramené à représenter le système par un schéma fonctionnel qui nous a permis de trouver la relation entre la grandeur de sortie du système et sa grandeur d'entrée (ou de consigne). Le rapport de ces deux grandeurs n'est autre que la fonction de transfert du système. L'analyse de tout système passe par des tests, c'est-à-dire trouver les réponses de ce système à des entrées typiques (impulsion, échelon, rampe, harmonique) afin de déterminer les performances de ce système.

Dans cette régulation le seul paramètre ajustable est le gain de l'amplificateur K_a , pour ajuster ce gain nous avons utilisé le critère de stabilité de Routh, qui nous a amené à trouver la plage de variation de ce gain en fonction des paramètres du système $0 < K_a < 552.2 = K_{cr}$, qui en fonction des constantes de temps (électrique et mécanique) du moteur à courant continu à excitation séparée utilisé.

Une fois la condition de stabilité est assurée, nous avons fait varier le gain K_a du système dans un premier temps par les lieux d'EVANS qui nous positionne l'évolution dans le plan complexe des pôles du système en fonction de son gain K_a .

Dans l'analyse temporelle nous avons monté la réponse indicielle, la réponse impulsionnelle et la réponse à une rampe pour plusieurs valeurs (dans la plage de stabilité) du gain de l'amplificateur K_a . Dans l'étude des performances (stabilité, précision, rapidité) des systèmes on est des fois entrent de faire des compromis entre la précision et la stabilité, cette contrainte est connue dans le domaine de l'automatique sous le nom de dilemme stabilité-précision.

Concernant l'analyse fréquentielle nous avons monté la réponse harmonique (dans les trois diagrammes (Bode, Nyquist et Black-Nichols) du système pour plusieurs valeurs (dans la plage de stabilité) du gain de l'amplificateur K_a . L'analyse fréquentielle permet de statuer sur le régime permanent des systèmes (stabilité, marge de gain, marge de phase).

L'attache finale du présent travail a été consacrée à l'analyse temporelle et fréquentielle de notre système dans lequel nous avons révélé un gain optimal $K_{aop}=2$ pour avoir un bon compromis entre les performances, pour $K_a= K_{aop}$, nous avons trouvé une marge de gain $A_m= 48.8$ d B, une marge de phase $\phi_m=55.5$ degrés, un temps de réponse à $\pm 5\%$, $t_r=29.5$ s et une erreur (précision) $\varepsilon=0.5$.

En perspective de ce travail, il est intéressé de faire une réalisation pratique qui permettra de valider cette régulation, de faire éventuellement une correction afin d'optimiser le rendement du panneau solaire.

Référence

- [1] : Z.Guerdouh, A.Tebba, «*Asservissement d'un panneau solaire*», Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Électrotechnique, Université de Jijel, 2020.
- [2] : A.Dihaj, K.Zenguila, «*Etude et réalisation d'un suiveur solaire photovoltaïque*», Mémoire De Fin D'étude En Vue De L'obtention Du Diplôme De Master Physique Energétique, UNIVERSITE d'ADRAR, 2016.
- [3] : D.Amiri, M.Bouabdellah, «*Modélisation et simulation d'un panneau solaire photovoltaïque* », Projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme de Master en Génie électrique, Université de Saad Dahlab de Blida, 2020.
- [4] : F.Zaaboub, H.Laib, «*Etude et simulation d'un générateur photovoltaïque connecté au réseau électrique et doté d'un FAP*», Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER, Université Larbi Ben M'hidi Oum El Bouaghi, 2017.
- [5] : A.Sini Boukrout, M.Lamri, «*Etude et conception d'un suiveur du soleil pour un générateur photovoltaïque*», MÉMOIRE Pour l'obtention du Diplôme de MASTER ACADEMIQUE, Université A. M. OULHADJ – Bouira, 2017.
- [6] : http://www.jdotec.net/s3i/TD_Info/Routh/Routh.pdf
- [7] : R.Aili, A.Telait, «*Modélisation et simulation sous MATALAB/SIMULINK d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT* », Mémoire de Fin d'Etude de MASTER ACADEMIQUE, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 2014.
- [8] : https://www4.acnancy.metz.fr/cpgepmfepinal/Cours_TD_SII/Elec/cours_asservissement.pdf
- [9] : http://www8.umoncton.ca/umcm-cormier_gabriel/TCircuits/GELE3132_Ch1.pdf
- [10] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Tracker_solaire
- [11] : <https://www.jade-technologie.com/composition-dun-panneau-solaire/>
- [12] : <https://tournesol.energy/le-fonctionnement-du-suiveur-solaire/>
- [13] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Asservissement_\(automatique\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Asservissement_(automatique))
- [14] : <https://www.geogebra.org/m/JtXavcTd>
- [15] : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02902953/document>
- [16] : https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_l%27%C3%A9nergie_solaire

Résumé :

L'énergie solaire est une source importante d'énergies renouvelables. Afin de convertir les rayons solaires en énergie électrique, on doit utiliser des panneaux solaires pour absorber la lumière du soleil la convertir en énergie électrique.

Le but de ce travail est d'améliorer la production de l'énergie électrique par des panneaux solaires mobiles (suiveur solaire) afin de produire le maximum de puissance électrique. A cet effet, on propose d'étudier un système servomécanisme de position.

Pour éviter la répétition des mêmes travaux, nous avons consacré nos efforts à l'étude de l'asservissement d'un servomécanisme (moteur MCC) de position associé avec un panneau solaire et un hacheur élévateur de tension. Notre travail a été réservé sur l'étude des performances (stabilité, rapidité, erreur minimale,...) d'un servomécanisme.

Les mots clés : panneau solaire photovoltaïque, MPPT, servomécanisme de position.

Abstract:

Solar energy is an important source of renewable energy. In order to convert solar rays into electrical energy, one must use solar panels to absorb sunlight and convert it into electrical energy.

The purpose of this work is to improve the production of electrical energy by mobile solar panels (solar tracker) in order to produce the maximum electrical power. To this end, we propose to study a position servomechanism system.

To avoid the repetition of the same work, we devoted our efforts to the study of the servomechanism (MCC motor) of position associated with a solar panel and a voltage step-up chopper. Our work was reserved on the study of the performances (stability, speed, minimum error, etc.) of a servomechanism.

Key words: photovoltaic solar panel, MPPT, position servomechanism.

ملخص

الطاقة الشمسية هي مصدر مهم للطاقة المتجددة. من أجل تحويل الأشعة الشمسية إلى طاقة كهربائية ، يجب استخدام الألواح الشمسية لامتصاص ضوء الشمس وتحويله إلى طاقة كهربائية.

الغرض من هذا العمل هو تحسين إنتاج الطاقة الكهربائية بواسطة الألواح الشمسية المتنقلة (متعقب الطاقة الشمسية) من أجل إنتاج الطاقة الكهربائية القصوى. تحقيقاً لهذه الغاية، نقترح دراسة نظام ميكانيكي ذكي للموقع.

لتجنب تكرار نفس العمل ، كررنا جهودنا لدراسة آلية ميكانيكية (محرك تيار مستمر) للوضعية المرتبطة باللوح الشمسي و المقطع الكهربائي الرافع للجهد. تم تكريس عملنا لدراسة الأداء (الاستقرار-السرعة-الدقة) للآلية الميكانيكية.

الكلمات المفتاحية : الألواح الشمسية الكهروضوئية،آلية ميكانيكية الموقع ،

.MPPT