
SYSTEME D'ORIENTATION AUTOMATIQUE BIAXIAL DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES DE PETITE CAPACITE

PUIUL Mihaela Mădălina

Facultatea: FIIR , Specializarea: CIST, Anul de studii: I, e-mail: puiul.mihaela@gmail.com

Coordonateur scientifique: Prof. Dr. Ing. Vasile BENDIC

RESUME : Cet article vise à développer un modèle expérimental de système d'orientation biaxiale pour les panneaux photovoltaïques. L'objectif du projet de diplôme était d'obtenir la puissance maximale disponible aux bornes d'un panneau photovoltaïque disposé sous la forme de quatre cellules solaires sur une carte de circuit imprimé. Cela est possible grâce à la création d'un système automatique d'orientation des panneaux photovoltaïques après une source lumineuse d'intensité maximale, positionnée dans un espace de travail connu. Bien qu'il existe plusieurs types d'algorithmes de contrôle, avec des avantages et des inconvénients spécifiques, il était prévu de développer et de mettre en œuvre un algorithme de suivi avec un microcontrôleur ATMEGA328, capable de générer les signaux de contrôle pour le modèle du système de suivi du point de puissance maximale.

MOTS CLÉS : Panneaux photovoltaïques, système biaxial, l'énergie solaire

1. Introduction

L'économie d'énergie est désormais une priorité mondiale, la préservation de la planète et de ses ressources devenant des objectifs internationaux majeurs. La crise énergétique, qui découle de l'épuisement ou de l'exploitation de plus en plus difficile des sources d'énergie conventionnelles, ajoute un changement climatique visible, provoqué par l'émission de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Dans ce contexte, le protocole de Kyoto a été négocié et conclu en 1997, en vigueur depuis 2005 et obligeant les pays signataires à réduire de 5,2% les émissions polluantes de l'atmosphère sur la période 2008-2012 par rapport à ceux de 1990. En novembre 2004, 127 pays avaient déjà ratifié l'accord, y compris les membres de l'Union européenne, dont la Roumanie et la Bulgarie étaient membres. Contextuel énergétique mondial, conduit à une préoccupation intense dans le domaine de l'énergie non conventionnelle. Parmi celles-ci, l'énergie solaire occupe une place importante. On peut mentionner le fait que l'énergie solaire ne prime pas, la surface, mais une petite partie de la radiation émise de la Terre, après ce que cette dernière subit des phénomènes de transmission, d'absorption et de diffusion au niveau de l'atmosphère. Dans ces conditions, l'intensité de celle-ci diminue de 30% dans le cas où le ciel est serein et clair. Annuellement, sur le continent, on consomme environ $1,5 \cdot 10^{18}$ kWh, de 10 000 de fois plus que le consommateur énergétique mondial. La Terre devenant ainsi une des sources les plus importantes non conventionnelles.

L'énergie solaire peut être captée et transformée soit en électricité en utilisant des technologies photovoltaïques soit en énergie thermique, en utilisant différents types de panneaux solaires thermiques. Dans ce contexte, les domaines que nous avons abordés dans cette étude sont la production d'électricité à partir de panneaux photovoltaïques et le transfert thermique qui s'effectue à leur niveau.

Les panneaux photovoltaïques sont des appareils qui convertissent l'énergie solaire en électricité. Le problème de sa production est posé par la phénoménologie qui découle du caractère aléatoire de la source solaire et des variations météorologiques imprévisibles. Ainsi, un système photovoltaïque reste tributaire à la fois de sa fiabilité, ainsi que du rythme et des aléas de l'approvisionnement en énergie primaire.

En revanche, les systèmes photovoltaïques n'utilisent qu'une petite partie du rayonnement solaire et de certaines longueurs d'onde pour produire de l'électricité. Le reste de l'énergie reçue à la surface est transformée en chaleur, ce qui entraîne une augmentation de la température des cellules constitutives et une

diminution de leur efficacité. En conséquence, l'augmentation de la productivité énergétique de ces installations implique à la fois l'efficacité de leur fonctionnement dans le champ électrique et l'étude des phénomènes thermiques qui se produisent.

Avec l'augmentation de la demande d'énergie, la réduction continue des ressources existantes en combustibles fossiles et la préoccupation croissante concernant la pollution de l'environnement, ont conduit à l'exploitation des nouvelles technologies pour la production d'électricité à partir de sources renouvelables, telles que l'énergie solaire, l'énergie éolienne, etc.

Les cellules solaires photovoltaïques (PV) convertissent directement l'énergie solaire en électricité. Ils sont constitués de matériaux semi-conducteurs qui absorbent la lumière du soleil. Cela active le détachement des électrons des atomes du matériau semi-conducteur, permettant la formation d'un flux qui constitue le courant électrique. Ces cellules sont contenues dans des modules d'environ 40 unités. Environ 10 modules forment une batterie qui peut être utilisée pour répondre aux besoins énergétiques d'un bâtiment. Regroupées en grand nombre, les batteries sont à la base d'une centrale électrique.

L'objectif du projet de diplôme était d'obtenir la puissance maximale disponible aux bornes d'un panneau photovoltaïque disposé sous la forme de quatre cellules solaires sur une carte de circuit imprimé. Cela est possible grâce à la création d'un système automatique d'orientation des panneaux photovoltaïques après une source lumineuse d'intensité maximale, positionnée dans un espace de travail connu. Bien qu'il existe plusieurs types d'algorithmes de contrôle, avec des avantages et des inconvénients spécifiques, il était prévu de développer et de mettre en œuvre un algorithme de suivi avec un microcontrôleur ATMEGA328, capable de générer les signaux de contrôle pour le modèle du système de suivi du point de puissance maximale.

2. Notions sur le rayonnement solaire

Dans l'atmosphère, de nombreux flux d'énergie rayonnante sont identifiés dont la principale source est le Soleil. L'énergie rayonnante émise par le Soleil vers la surface de la Terre subit une série de changements qualitatifs et quantitatifs, de sorte qu'elle apparaît sous la forme de flux radiatifs distincts.

La surface de la Terre absorbe une partie du rayonnement solaire incident et réfléchit le reste. Le présent chapitre traite des phénomènes d'absorption et des facteurs permettant de déterminer la manière efficace de réaliser un système photovoltaïque.

Afin de comprendre le bon fonctionnement d'un système photovoltaïque, il est nécessaire de prendre en compte des aspects généraux tels que la distribution globale du rayonnement solaire et l'intensité du faisceau lumineux atteint à la surface de la Terre, qui sera mesurée à l'aide du pyranomètre.

Rayonnement solaire globalement distribué

La forme elliptique de l'orbite de la Terre autour du Soleil et son déplacement jusqu'à une extrémité de l'ellipse font varier la distance parcourue par le rayonnement solaire vers la Terre sur une année. Ainsi, l'intensité de rayonnement qui nous est parvenue varie, tout d'abord, en fonction de ce facteur. Elle varie entre un minimum d'env. $1\,471 \times 10^8$ km au périhélie (le point où nous sommes le plus près du Soleil), qui a lieu entre le 2 et le 5 janvier, et $1\,521 \times 10^8$ km à l'aphélie (le point où nous sommes le plus éloigné du Soleil), dans l'intervalle Du 3 au 5 juillet. A l'extrémité de l'atmosphère, la densité de puissance de rayonnement oscille entre 1325 W/m^2 et 1412 W/m^2 . Sa valeur moyenne globale est appelée constante solaire et a la valeur: $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$. Une fois qu'il pénètre dans les couches de l'atmosphère, le rayonnement direct diminue encore plus en intensité, en raison des phénomènes de réflexion, d'absorption et de dispersion. Au niveau du sol, à midi, par temps clair, l'intensité du rayonnement direct peut atteindre 1000 W/m^2 . L'énergie du rayonnement solaire diffère considérablement d'une région à l'autre. Sa distribution dans le monde en 2013 est illustrée dans l'image suivante:

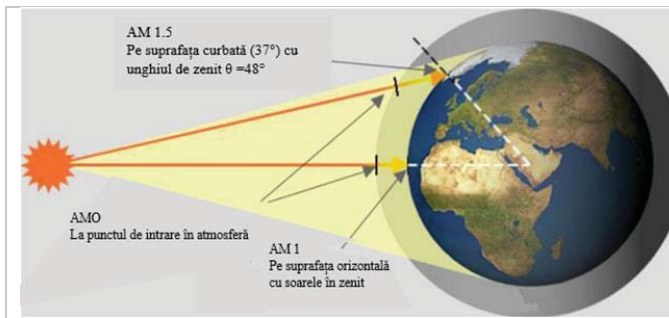


Fig. 1. Distribuția radiației solare

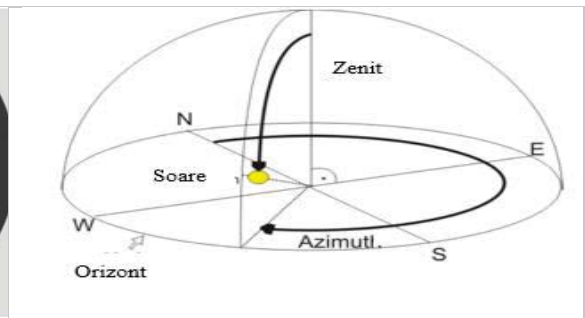


Fig. 2 Représentation graphique de la position du Soleil dans le ciel[3]

Élévation du Soleil et spectre du rayonnement solaire

L'insolation à la surface de la Terre dépend directement de l'élévation apparente du Soleil par rapport à un observateur terrestre. Étant donné que l'atmosphère de la planète affecte le rayonnement solaire par l'absorption, la réflexion et la diffusion, un angle proche du zénith (l'angle formé par le plan horizontal au point d'observation et la verticale sur ce plan, qui passe par le centre du Soleil) signifie qu'il aura une trajectoire plus longue. Court à travers l'atmosphère et implicitement, une plus grande quantité d'énergie atteindra la surface de la Terre. De plus, un angle proche de l'horizontale suppose que le rayonnement pénètre dans une couche plus épaisse de l'atmosphère, ce qui entraîne une diminution du flux radiatif.

L'indice de masse de l'atmosphère (environ AM - masse d'air) indique, en substance, le rapport entre l'épaisseur totale de la couche atmosphérique pénétrée par la lumière du soleil à une certaine altitude de celle-ci et l'épaisseur de la couche lorsque le soleil est à son zénith, point auquel le coefficient il est considéré comme égal à 1. De plus, à l'extrémité extérieure de l'atmosphère, le même indice a la valeur 0. L'expression de l'indice de masse est:

$$AM = \frac{1}{\sin \gamma} \quad (1)$$

où l'angle γ est l'élévation du Soleil au point d'observation.

L'atmosphère terrestre affecte non seulement l'intensité et implicitement, l'énergie du rayonnement solaire dans son ensemble, mais plus que cela, elle affecte son spectre à travers ses éléments constitutifs. Par exemple, la couche d'ozone filtre la plupart des hautes fréquences énergétiques (par exemple UV, X, gamma, etc.). Plus le trajet à travers les couches atmosphériques est long, comme cela se produit au coucher ou au lever du soleil, plus le spectre de rayonnement perd une plus grande part des petites bandes de longueurs d'onde, restant dans sa bande infrarouge de faible énergie. La figure ci-dessous illustre les différences entre les distributions spectrales du rayonnement solaire direct au niveau de la mer et à la limite extérieure de l'atmosphère terrestre:

Sur la figure 5, on peut observer que la meilleure zone pour les installations solaires est située dans la partie sud de la Roumanie, avec un rayonnement entre 1450 et 1750 kWh / m2 par an.

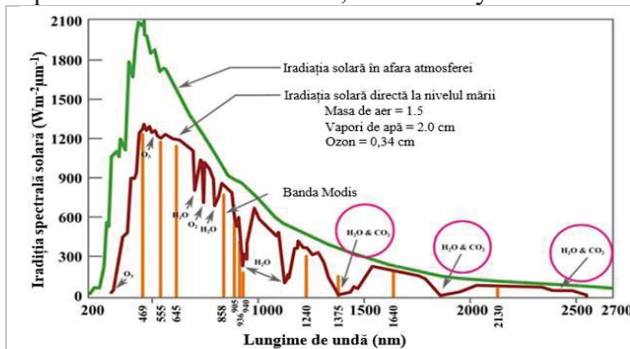


Fig. 4 Spectres de rayonnement solaire direct au niveau de la mer et à la limite extérieure de l'atmosphère terrestre [4].

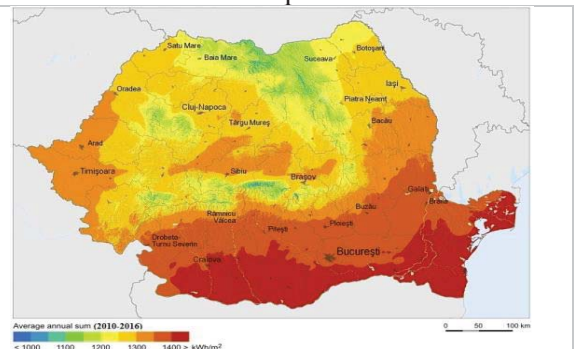


Fig. 5. La carte solaire de la Roumanie pour une inclinaison optimale des modules photovoltaïques[5]

Le rayonnement solaire est influencé par la modification permanente des paramètres importants suivants: la hauteur du Soleil dans le ciel (l'angle formé par la direction des rayons du soleil avec le plan horizontal); l'angle d'inclinaison de l'axe Terre; modification de la distance Terre-Soleil (environ 149 millions de km le long d'une trajectoire elliptique légèrement excentrique). latitude géographique.

- Mesure du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est mesuré soit directement, à l'aide de pyranomètres ou de capteurs photovoltaïques, soit indirectement, par l'analyse d'images satellites. Les pyranomètres sont des capteurs de haute précision qui mesurent le rayonnement solaire sur une surface plane. Essentiellement, ils sont composés de deux coupes hémisphériques en verre, d'une plaque métallique noire hyperabsorbante, des éléments thermosensibles positionnés en dessous et d'un boîtier métallique blanc.

Dans le cas du pyranomètre, les rayons du soleil traversent les dômes de verre et tombent perpendiculairement à la surface absorbante, la chauffant. Le chauffage dépendant directement du degré d'irradiation, la différence de température entre la plaque absorbante et l'environnement extérieur, plus précisément le boîtier blanc, permet de déterminer l'intensité du rayonnement solaire. Une alternative aux pyranomètres, beaucoup moins chers, mais beaucoup moins précis, sont les capteurs photovoltaïques. Leur faible précision par rapport à celle des pyranomètres provient de leur sensibilité spectrale.

Un tel capteur contient une cellule photovoltaïque qui génère un courant électrique, dont l'intensité est directement proportionnelle à l'intensité du rayonnement incident. Cependant, la sensibilité limitée de la cellule, qui n'est pas affectée par les longueurs d'onde dans la plage infrarouge, fait que leur précision peut atteindre, avec un bon étalonnage, env. 4-5% en un an.

3. La phase actuelle des connaissances dans le domaine photovoltaïque

Lors de l'absorption de la lumière solaire, l'énergie solaire est convertie avec la participation de particules subatomiques et le flux électro-piloté qui donne naissance représente l'électricité. Ce processus de conversion de l'énergie lumineuse en électricité est appelé effet photovoltaïque. Les cellules photovoltaïques ne doivent pas être confondues avec d'autres systèmes de conversion d'énergie solaire. Ils sont désignés par le symbole PV. L'application généralisée de la technologie photovoltaïque est limitée par les coûts de production élevés et les problèmes environnementaux associés.

Le chapitre actuel comprend l'analyse du principe photovoltaïque, de la cellule solaire, du système photovoltaïque et de la façon dont ils captent l'énergie solaire pour atteindre une efficacité maximale du système étudié.

L'effet photovoltaïque a été découvert dès 1839 par Becquerel, mais il n'a pu être exploité techniquement que cent ans plus tard, lorsque Shockley a découvert la première jonction, et les laboratoires Bell ont créé la première cellule solaire, avec un conversion d'énergie inférieure à 5%.

Becquerel a expliqué la découverte dans la revue scientifique "Les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences" comme "l'émergence d'un courant électrique lorsque deux plaques de platine ou d'or, immergées dans une solution acide, neutre ou alcaline, sont exposées au rayonnement solaire inégalement. »Le principe des cellules solaires est le suivant: les électrons et les « trous » qu'ils laissent derrière sont des porteurs de charges (négatifs, respectivement positifs) et apparaissent généralement par paires dans des matériaux solides. Le matériau semi-conducteur est à la base des cellules solaires, et ses caractéristiques permettent de libérer plus facilement les électrons des "trous" qui les entourent, sous l'action des photons. En quittant les trous, les électrons libérés s'écoulent librement à travers le matériau semi-conducteur.

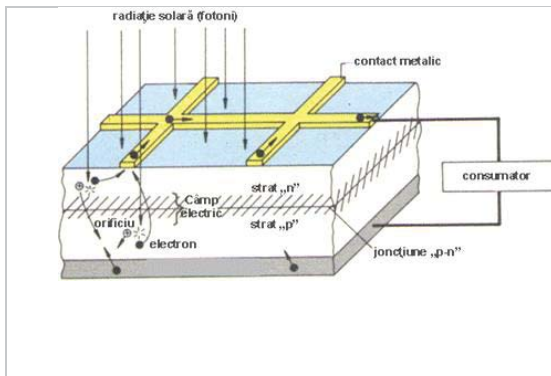


Fig. 8 Le principe photovoltaïque [7]

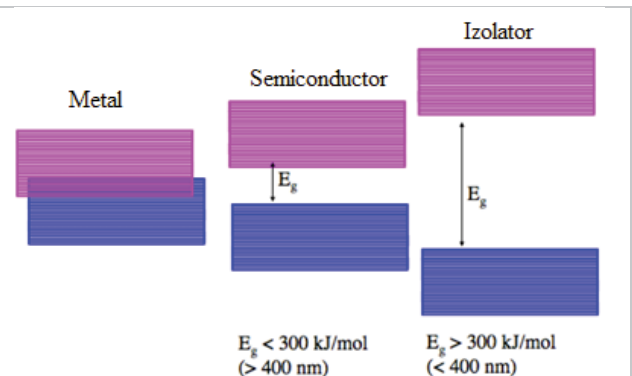


Fig. 9 Bandes d'énergie sur les métaux, semi-conducteurs et diélectriques[8]

Cependant, ces mouvements n'ont pas un sens de déplacement privilégié. Pour créer de l'électricité, les électrons doivent être collectés. Pour cela, le semi-conducteur est dopé avec des atomes "impurs". Deux types d'atomes produisent une région de type n et une région de type p, et ces deux régions voisines peuvent générer un champ électrique, comme le montre la figure ci-dessous.

Les progrès de la mécanique quantique ont permis de mieux expliquer l'effet photovoltaïque. Partant de la notion de photon, le phénomène a été décrit comme l'effet du détachement d'électrons de la bande de valence et de leur entrée dans la bande de conduction, suite à l'absorption de l'énergie photonique par certains matériaux.

Dans les matériaux semi-conducteurs, contrairement aux métaux isolants électriques, il existe une différence d'énergie entre les bandes de valence et les bandes de conduction, si faible que l'absorption d'un photon peut disloquer un électron et le placer dans la bande de conduction. Dans la construction de cellules photovoltaïques pour des applications terrestres (les cellules nécessitent une compatibilité avec le spectre de rayonnement, qui diffère entre la surface de la planète et la limite extérieure de l'atmosphère), le matériau le plus répandu est le silicium, sous forme mono ou polycristalline. Le silicium pur, cependant, a peu d'électrons libres, ce qui est insuffisant pour générer un courant électrique utile. Ainsi, il est délibérément dopé avec des matériaux des groupes III ou V du tableau périodique des éléments, des substances ayant plus ou moins 1 électron de valence que le silicium, comme le bore ou le phosphore, pour augmenter sa conductivité électrique. Dans le cas du phosphore, comme seulement 4 des 5 électrons disponibles créent des liaisons stables avec des atomes de silicium adjacents, la liaison faible du cinquième peut être légèrement rompue, conduisant cet électron dans la couche de conduction. Ce type de dopage est appelé dopage (négatif), car il ajoute un excès d'électrons, de charge négative. De même, dans le cas des matériaux du groupe III, comme le bore, qui ont moins d'électrons de valence, une lacune dans les liaisons atomiques apparaît. Cela permet à l'électron libre de migrer de l'atome de silicium adjacent au bore et de combler cet espace. L'effet est l'émergence d'un autre vide, un phénomène qui se propage et conduit à l'apparition d'un «courant d'objectifs». Ce type de dopage est appelé dopage -p (positif), car il crée un excès de charge positive.

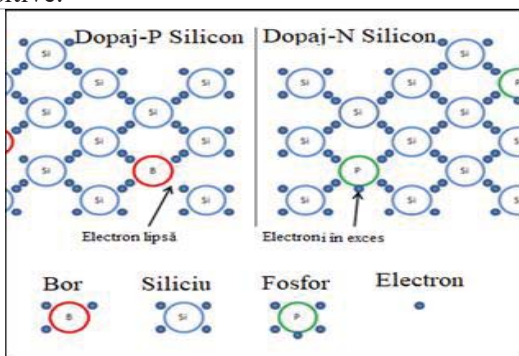


Fig. 10 Structure atomique de silice dopée d'impuretés.[6]

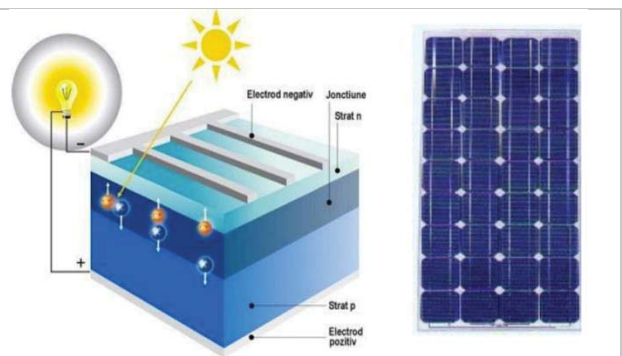


Fig. 11 Cellule photovoltaïque[9]

La cellule photovoltaïque est un dispositif électronique, fait de matériaux semi-conducteurs, qui génère des paires d'électrons et des espaces libres grâce à l'absorption de la lumière, les porteurs de charge étant séparés spatialement en raison d'une barrière de potentiel formée par les discontinuités internes qui entraînent les électrons dans la direction opposée aux espaces.

La séparation des porteurs de charge se traduit par une tension aux bornes de la cellule et un courant à travers une résistance de charge, de sorte que la cellule photoélectrique fonctionne comme un générateur électrique.

La quantité de rayonnement qui atteint la terre est variable, en fonction à la fois des variations régulières causées par le mouvement apparent du Soleil (jours et années) et des variations aléatoires déterminées par la composition générale de l'atmosphère ainsi que les conditions climatiques (présence de nuages).[5]

Les systèmes de conversion photovoltaïque sont construits sur la base des données obtenues par des mesures à proximité de la zone installée[5]

L'équation de la caractéristique courant-tension d'une cellule photovoltaïque est[10]:

$$I = I_d - I_L = I_o \left(e^{\frac{e \cdot U}{kT}} - 1 \right) - I_L \quad (2)$$

où:

I_o – l'intensité du courant de saturation, [A];

I_L – représente le courant provoqué par le rayonnement incident (photocourant) dont la valeur est déterminée par l'intensité du flux incident.

U_T – la tension thermique correspondant à la température de fonctionnement de la jonction

$$U_T = \frac{k \cdot T}{e}; \quad (3)$$

e – charge d'électrons, [C];

$$k = 1,380658 \times 10^{-23} [JK^{-1}]; \quad (4)$$

T – température absolue, [°K];

U – tension photoélectrique (qui est établie aux bornes de la cellule, la polarisant directement

4. MISE EN ŒUVRE DU SYSTÈME DE POSITIONNEMENT.

Le chapitre actuel traite des composants et de la construction d'un système de contrôle automatique pour l'orientation de petits panneaux photovoltaïques à des fins d'enseignement. Il utilise un mécanisme actif de suivi du Soleil sur deux axes ayant un récepteur qui est une cellule monocristalline conventionnelle, avec une seule jonction p-n, ceux-ci étant étudiés dans les chapitres présentés ci-dessus.

L'objectif principal est de créer une installation didactique permettant le suivi et l'analyse comparative des phénomènes thermoélectriques qui se déroulent à la fois dans des conditions de sur-irradiation d'une cellule photovoltaïque et dans des conditions d'irradiation normales. En d'autres termes, le système doit comprendre un certain nombre de cellules indépendantes exposées au rayonnement solaire dont les caractéristiques électriques doivent être surveillées simultanément.

En ce sens, compte tenu des caractéristiques techniques, de leur simplicité, de leur rentabilité et de leur adaptabilité (voir leur diffusion dans les applications électroniques numériques), l'option était de choisir des composants électriques, mécaniques, servomécaniques et microélectroniques afin de créer un stand d'enseignement.

Système de positionnement automatique du panneau photovoltaïque il est basé sur une carte de développement / acquisition basée sur un microcontrôleur ATMEGA328, sur une plate-forme ARDUINO UNO, qui au moyen de capteurs optiques résistifs détermine le point de rayonnement maximal de l'énergie solaire incidente. Dans la solution choisie est utilisé un capteur pour déterminer l'intensité du rayonnement solaire, et à l'aide de la plaque électronique avec microcontrôleur, les données de l'environnement sont calculées et traitées, déterminant ainsi la position du point maximal de rayonnement solaire.[10]

Le mouvement du panneau solaire est réalisé à l'aide d'un servomoteur de type RC (radiomodels), réalisant un positionnement suffisamment précis comme suit: contrôle du mouvement d'azimut,

implicitement le mouvement de rotation autour de l'axe central; contrôle du déplacement angulaire sur l'élévation.

Les signaux fournis par les capteurs sont lus et traités à un certain intervalle de temps prédéfini, le système étant actif et se déplaçant tout au long de la journée.

Le maintien des panneaux photovoltaïques en alignement permanent avec le Soleil peut se faire de deux manières, l'une basée sur l'utilisation d'une matrice de capteurs photosensibles. Cependant, compte tenu de la faible précision du positionnement ainsi réalisé et de l'instabilité du système en cas de ciel partiellement couvert, une option privilégiée est l'utilisation d'un algorithme de calcul direct de la position du Soleil. La position apparente du Soleil représente une paire d'angles, les deux étant relatifs à la position de la Terre de l'observateur, ou dans ce cas, du système automatique, ainsi que la date de l'année et l'heure du jour. L'élévation, dont les valeurs sont comprises entre 0 ° et 90 ° (les valeurs négatives signifient que le Soleil est en dessous de l'horizon), représente l'angle entre le plan horizontal et le plan vertical sur ce plan, appelé zénith. Si l'horizon représente, d'un point de vue géométrique, un cercle dans le plan horizontal, où le nord géographique est à 0 ° / 360 °, l'est à 90 °, le sud à 180 ° et l'ouest à 270 °, l'azimut représente l'angle formé entre l'origine de ce cercle, le nord géographique et le segment droit entre l'origine et le centre du Soleil.

5. Efficacité économique de la solution de choix

Afin de choisir une solution économiquement efficace, une analyse des coûts et dépenses des composants du système étudié a été réalisée. Afin d'obtenir des effets économiques utiles, des méthodes scientifiques d'organisation de l'activité seront utilisées dans des conditions de dépenses rationnelles et économiques de ressources matérielles, humaines et financières.

Le calcul des dépenses générées par la réalisation du modèle expérimental sera effectué sur la base des calculs avec les coûts des matériaux, le calcul des coûts de main-d'œuvre, le calcul du coût de la section pour le produit réalisé et le calcul du coût de la réalisation du modèle expérimental.

- Dépenses en matériaux

Les dépenses matérielles représentent l'expression de la valeur de la consommation de ressources matérielles et de la prestation de services par des tiers ayant un poids plus ou moins élevé dans la structure des coûts de production. Dans la composition des dépenses matérielles, en fonction du lien avec le volume de production, certaines sont variables, d'autres fixes, et selon la répartition du coût des produits, certaines sont directes et d'autres indirectes.

La réduction des coûts matériels doit être l'objectif majeur et décisif dans l'utilisation la plus efficace des ressources matérielles pour assurer l'amélioration des performances économiques et financières et consolider la position sur le marché d'un fournisseur potentiel de services ou de produits. Dans l'analyse diagnostique, les dépenses matérielles sont examinées à la fois au total et en groupes (variables et fixes) ou sur les éléments constitutifs (matières premières, matériaux, énergie et eau, etc.).

Les dépenses en matières premières et matériaux pour un produit donné sont calculées à l'aide de la relation mathématique:

$$C_{mat} = \left(\sum_j \sum_i C_{ij} \cdot P_i + C_{pc} - D \right) \left(1 + \frac{\gamma}{100} \right) \left[lei/u.p \right] \quad (5)$$

où:

j - représente des pièces, des pièces, des sous-ensembles, etc.;

P_i - représente le prix catalogue des composants;

D - représente la quantité de déchets valorisables restant du traitement;

γ - représente un coefficient adimensionnel qui prend en compte les coûts de transport et d'approvisionnement, celui-ci ayant des valeurs dans la gamme [5 ... 8] %.

Dans ce cas, γ avec une valeur de 6% est choisi. Les coûts des composants du modèle expérimental sont indiqués dans le tableau 1

Quantité de déchets récupérables restants:

$$D = \frac{2}{100} \cdot 438 = 9,08 \text{ [u.p]} \quad (6)$$

Tableau 1 - Dépenses de matériel

Nr.	Nom du composant	Buc.	Prix unitaire[Lei]	valeur[Lei]
0	1	2	3	4 = 2 · 3
1	Conseil de développement ARDUINO	1	120	120
2	Photorésistance	5	5	25
3	Capteur de rayonnement solaire	1	25	25
4	Actuateur	2	60	120
5	PCB conexiune	1	20	20
6	Câbles de connexion	15	0,3	4,5
7	Panneau photovoltaïque	4	5	20
8	PCB capteurs et panneaux	1	35	35
9	Accouplement mécanique	1	85	85
TOTAL (LEI)				454

Tableau 2 Coûts de main-d'œuvre

Nom du composant	Le type d'opération	Durée [min]	Salaire horaire moyen [lei / heure]	Coûts de main-d'œuvre [lei / heure]
Circuit imprimé	Conception du câblage imprimé	60	15	15
	Faire le câblage	120	12	24
	Collage de composants	30	12	6
Assemblage modèle expérimental	Connexion du câblage imprimé à la carte de développement	20	8	2
TOTAL (LEI)			47	47

Les coûts de main-d'œuvre sont:

$$Cr_{ml} = 47 \text{ [lei/u.p.]}$$

Pour déterminer le coût total de production, les autres composants de celui-ci doivent être déterminés:

Pour déterminer le coût total de production, les autres composantes de celui-ci doivent être déterminées: • les dépenses avec la rémunération de base, Cr_{bl} , la valeur brute du produit réalisé sont calculées en utilisant la relation mathématique ci-dessous:

$$Cr_{bl} = Cr_{ml} \cdot (1 + I\%) \cdot (1 + CAS\%) \quad (7)$$

où:

I – représente la taxe sur le salaire, $I = 10 \%$;

CAS – représente la contribution à l'assurance maladie sociale, $CAS = 10,5 \%$.

$$Cr_{bl} = Cr_{ml} \cdot \left(1 + \frac{I}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{CAS}{100}\right) \text{ [lei/u.p]} \quad (8)$$

$$Cr_{bl} = 47 \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{10,5}{100}\right) \text{ [lei/u.p]} \quad (9)$$

$$Cr_{bl} = 57,1285 \text{ [lei/u.p]}$$

- Coût de section pour le modèle expérimental

Le coût de section pour le produit réalisé C_{sl} est calculé en utilisant la relation:

$$C_{sl} = Cr_{ml} \cdot Cr_{bl} \cdot \left(1 + \frac{RS}{100}\right) \quad (10)$$

où: R_s – directeur de section, $R_s = 300\%$; $C_{sl} = 131,48$ [lei/u.p.]

- Le coût avec le chef d'entreprise

Le coût avec le chef d'entreprise est calculé avec la relation:

$$C_{Ril} = C_{sl} \cdot R_i \quad (11)$$

où:

R_i – la direction de l'entreprise est estimée à environ $R_i = 5\%$;

En substituant dans la relation (6.10) on obtient:

$$C_{Ril} = 6,57 \text{ [lei/u.p.]}$$

- Le coût de réalisation du modèle expérimental

Sur la base des calculs effectués précédemment, le coût de fabrication du modèle expérimental peut être déterminé.

Le coût de production représente la totalité des dépenses, correspondant à la consommation de facteurs de production, que les agents économiques font pour la production et la vente de biens matériels ou la prestation de services.

Le coût de production est déterminé à l'aide de la relation mathématique suivante:

$$C_p = C_{m_l} + C_{r_{bl}} + C_{R_{sl}} + C_{R_{il}} \quad \text{[lei/u.p.]} \quad -(12)$$

où:

C_{m_l} , représente les dépenses avec les matériaux pour le produit réalisé;

$C_{r_{bl}}$, représente les dépenses avec la rémunération de base pour le produit réalisé;

$C_{R_{sl}}$, représente les dépenses avec le directeur de section pour le produit réalisé;

$C_{R_{il}}$, représente les dépenses avec le chef d'entreprise pour le produit réalisé. La substitution dans la relation (6.11) est obtenue:

$$C_p = 454 + 63,884 + 7,145 + 131,48 \text{ [lei/u.p.]} \quad (13)$$

$$C_p = 656,4134 \text{ [lei/u.p.]}$$

À cet égard, des calculs ont été effectués sur la base desquels l'efficacité économique du dispositif choisi pouvait être déterminée. Le calcul des dépenses générées par la réalisation du modèle expérimental a été effectué sur la base des calculs avec les coûts des matériaux, le calcul des coûts de main-d'œuvre, le calcul du coût de la section pour le produit réalisé et le calcul du coût de la réalisation du modèle expérimental. Ils ont été considérés en fonction du lien avec le volume de production, les coûts variables et fixes, et selon la répartition du coût des produits, les coûts directs et indirects. Par conséquent, sur la base des calculs effectués précédemment, il y a eu une réduction des coûts des matériaux grâce à la méthode d'analyse diagnostique. Ainsi, le prix unitaire d'un produit est de 656.4134 lei, représentant toutes les dépenses, correspondant à la consommation des facteurs de production, pour la production et la vente de ce produit.

CONCLUSIONS

La demande d'électricité pour les progrès technologiques est très élevée dans la société moderne. Les générateurs électriques sont utilisés pour répondre à ces besoins énergétiques, qui utilisent des combustibles conventionnels. Avec l'utilisation de combustibles fossiles, la pollution de l'environnement se produit. Ils émettent des gaz à effet de serre dans l'atmosphère, ce qui conduit au réchauffement climatique, ayant un impact négatif sur l'atmosphère et les organismes vivants, c'est-à-dire endommageant

gravement l'environnement. Un très bon moyen de résoudre le problème de la pollution de l'environnement est d'utiliser des cellules photovoltaïques.

Cet article portait sur l'étude et la construction d'un système automatique de contrôle de l'orientation de petits panneaux photovoltaïques à des fins pédagogiques.

Un mécanisme actif de suivi du soleil à deux axes a été développé avec un récepteur qui est une cellule monocristalline conventionnelle. L'installation didactique permet la surveillance comparative et l'analyse des phénomènes thermoélectriques qui ont lieu dans l'absorption du rayonnement solaire pour l'accumulation des données réelles par voie expérimentale. Le système comprend un certain nombre de cellules indépendantes exposées au rayonnement solaire dont les caractéristiques électriques sont contrôlées simultanément.

Elle peut être considérée comme le seul inconvénient de la conversion photovoltaïque en électricité, c'est-à-dire ne répondant pas aux besoins en énergie d'un point de vue physique et économique, qui ne sont pas suffisants pour les besoins actuels. Actuellement, dans ce domaine, il y a du temps et de l'argent investis dans la recherche et le développement, et il faudra très peu de temps pour que l'énergie solaire devienne un moyen efficace de fournir de l'électricité. D'un point de vue économique, le prix des panneaux photovoltaïques ne diminue pas beaucoup, mais la quantité d'énergie produite par eux augmente constamment. C'est une indication d'un avenir couronné de succès dans ce domaine. Bien qu'il existe d'autres sources alternatives d'énergie renouvelable, les cellules photovoltaïques sont les plus propres et les plus respectueuses de l'environnement.

Bibliographie

1. [1] <http://www.agir.ro/buletine/2829.pdf?fbclid=IwAR3eM2bAzFamAR5j2WJk1aCp5UNEQ3DQn6vUFqeov62DPRpjpgMpWGOyhp3g>, accesat la data de 21.03.2019
2. [2] <http://badc.nerc.ac.uk>, accesat la data de 15.04.2019
3. [3] <http://solarcenter.ro/blog/cum-functioneaza-panourile-solare-fotovoltaice/>, accesat la data de 15.04.2019
4. [4] <http://butane.chem.uiuc.edu>, accesat la data de 15.04.2019
5. [5] <https://www.futura-sciences.com/maison/dossiers/maison-electricite-solaire-energie-rayonnante-1225/page/12/>, accesat la data de 27.04.2019
6. [6] http://www.physics.pub.ro/Referate/BN031B/Caracteristica_curent-tensiune_a_unei_celule-solare.pdf, accesat la data de 27.04.2019
7. [7] [https://ro.wikipedia.org/wiki/Celulă solară](https://ro.wikipedia.org/wiki/Celul%C3%A2_solar%C3%A2), accesat la data de
8. [8] <http://volker-quaschning.de>, accesat la data de 2.05.2019
9. [9] <http://www.afahc.ro/ro/facultate/cursuri/ccg/CDE/Cursul%201.pdf>
10. [10] <http://wikimedia.org>, accesat la data de 2.05.2019
11. [11] <http://www.tti.ieeia.tuiasi.ro/materiale/rce/curs/Cap%206%20-%20Energia%20solara.pdf>, accesat la data de 2.05.2019