

В. В. КУРАК

кандидат технічних наук, доцент,
в.о. завідувача кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-4303-5671

О. В. АНДРОНОВА

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри енергетики, електротехніки і фізики
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-9597-8068

М. О. МЕЛЬНИК

студент
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0009-0004-4675-2571

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ НЕОДНОРІДНОСТІ ОПРОМІНЕННЯ ПРИЙМАЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ НА ПАРАМЕТРИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПАНЕЛІ

При оцінці вироблення енергії фотоелектричними системами важливо враховувати неоднорідність розподілу світлового потоку, що надходить до приймальної поверхні сонячних панелей. Спеціалізоване програмне забезпечення, що використовується на сьогоднішній день, здатне коректно змоделювати енергетичні показники сонячної електростанції в розрізі типового року з урахуванням затінення геліополя оточуючими макрооб'єктами. В той же час, локальні затінення, обумовлені наявністю на приймальній поверхні панелі сторонніх об'єктів або забруднень, до уваги не приймаються.

В даній роботі представлено блочну модель фотоелектричної панелі, що дозволяє врахувати вплив локальних затінь на генерацію енергії панеллю. В середовищі MATLAB/Simulink проведено моделювання впливу неоднорідності у надходженні потоку сонячного випромінювання до приймальної поверхні на електричні параметри сонячної панелі.

Показано, що при послідовній комутації фотоелектричних перетворювачів у панелі неоднорідність опромінення приймальної поверхні здатна суттєво зменшити вихідну електричну потужність, оскільки затінені сонячні елементи блокують струм в електричному колі, а для уникнення такого блокування необхідно застосувати байпас-діоди.

На відміну від випадку послідовного з'єднання, при послідовно-паралельній комутації фотоелектричних перетворювачів навіть повне затінення сонячного елемента в одній із паралельних гілок не спричиняє критичних наслідків щодо генерації електричної енергії сонячною панеллю. Так, при наявності у складі панелі двох паралельних гілок повне затінення фотоелектричного перетворювача в одній із них зменшує генеровану потужність удвічі в порівнянні з незатіненим випадком. По мірі зменшення затінення фотоелектричного перетворювача зростає струм в гілці, загальний струм панелі збільшується, а відповідно зростає і генерована електрична потужність.

Отримані результати корелюють із загальними теоретичними уявленнями та описаними в літературних джерелах закономірностями.

Ключові слова: фотоелектрична панель, фотоелектричний перетворювач, потік випромінювання, неоднорідність, однодіодна схема, електричні параметри, моделювання, MATLAB/Simulink.

V. V. KURAK

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Acting Head of the Department of Energy,
Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0002-4303-5671

O. V. ANDRONOVA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Energy,
Electrical Engineering and Physics
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-9597-8068

M. O. MELNYK

Student

Kherson National Technical University

ORCID: 0009-0004-4675-2571

SIMULATION OF THE INFLUENCE OF IRRADIATION INHOMOGENEITY ALONG THE RECEIVING SURFACE ON PHOTOELECTRIC PANEL PARAMETERS

When evaluating the photovoltaic systems energy yield, it is important to take into account the inhomogeneity in distribution of the light along the solar panels receiving surface. Specialized software used today is capable of correctly simulating the solar power plant energy performance in a typical year, taking into account the shading of the solar field by surrounding macro-objects. At the same time, local shading caused by the presence of extraneous objects or contaminations on the receiving surface of the panel are not taken into account.

In this paper a block model of a photovoltaic panel which allows taking into account the influence of local shading on the panel generation is presented. The influence of inhomogeneity of the solar radiation flux along the receiving surface on the solar panel electrical parameters is simulated using MATLAB/Simulink environment.

It is shown that in the case of panel with serial connected solar cells the solar radiation inhomogeneity can significantly reduce the output electric power, since the shaded solar cells block the current in the electric circuit, and bypass diodes must be used to avoid such blocking.

In contrast to the series connection, in the case of solar panel with mixed series-parallel wiring of solar cells complete shading of a cell in one of the parallel lines does not cause critical fall in the electrical energy generation. Thus, if the panel contains two parallel lines, the complete shading of a cell in one of the lines reduces the generated power by half compared to the unshaded case. As the solar cell shading decreases, the current in the shaded line grows that leads to increases of the total current of panel, and electricity generation of panel rises.

Obtained results are correlated with general theoretical concepts and regularities described in literary sources.

Key words: photovoltaic panel, photovoltaic cell, radiation flux, inhomogeneity, single-diode equivalent circuit, electrical parameters, simulation, MATLAB/Simulink.

Постановка проблеми

Вироблення енергії фотоелектричними системами суттєво залежить від умов надходження сонячної радіації до приймальної поверхні сонячних панелей. В свою чергу, кількість променистої енергії, що поглинається сонячними панелями, обумовлюється не лише географічним розташуванням системи, її просторовою орієнтацією, закономірними добовими та сезонними змінами, станом атмосфери, але й затіненням геліополя оточуючими об'єктами, локальними забрудненнями поверхні панелей, тощо.

На енергетичні показники сонячних панелей суттєво впливають і температурні фактори, що тісно пов'язані як з поточним значенням температури оточуючого середовища, так і з нагріванням фотоелектричних перетворювачів внаслідок поглинання світлового потоку та теплових ефектів від протікання електричного струму [1].

Підвищення температури панелей та просторова нерівномірність опромінення геліополя здатні суттєво зменшити електричну потужність фотоелектричних станцій, і для коректного прогнозування вироблення електричної енергії такими системами зазначені фактори потрібно враховувати під час моделювання їх роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Спеціалізоване програмне забезпечення для проектування фотоелектричних систем, таке як System Advisor Model [2], PV*SOL [3] та інші, здатне коректно змоделювати енергетичні показники роботи станції в розрізі типового року, враховуючи кліматичні дані місця її розташування та затінення геліополя. Втім, такі програми спираються на наявні бази даних обладнання фотоелектричних станцій, що унеможливує здійснення моделювання у разі використання панелей нестандартної конструкції. Окрім того, передбачається врахування затінення від оточуючих об'єктів лише щодо загальної площі геліополя, що стає перешкодою у випадку необхідності прийняття до уваги затінення конкретного фотоелектричного перетворювача панелі, наприклад, від локального забруднення.

В [4] запропоновано модель фотоелектричної панелі, побудованої в середовищі MATLAB/Simulink на основі стандартного блоку Solar Cell. Моделювання, проведене для сонячних панелей з кристалічного кремнію для стандартних умов STC, продемонструвало високе співпадіння отриманих результатів з параметрами панелей, зазначеними у їх специфікації. Втім, дана модель дозволяє реалізувати лише послідовне з'єднання фотоелектричних перетворювачів в межах панелі і не передбачає врахування впливу інтенсивності сонячного випромінювання на температуру сонячних елементів.

Реалізувати довільну електричну комутацію сонячних елементів в панелі та врахувати вплив зміни інтенсивності потоку сонячного випромінювання на температуру фотоелектричних перетворювачів можна з використанням підходу, запропонованого в [5]. В цій моделі, реалізованій у середовищі MATLAB/Simulink, панель будується з окремих блоків Solar Cell у відповідності із бажаною електричною комутацією (рис. 1). Використанням незалежних блоків констант Rad передбачено можливість підведення потоку сонячного випромінювання окремо до

кожного фотоелектричного перетворювача у складі панелі, що дозволяє реалізувати моделювання її електричних характеристик в умовах неоднорідного розподілу сонячної інсоляції по приймальній поверхні.

Для врахування впливу інтенсивності сонячного випромінювання на температуру фотоелектричних перетворювачів стандартну теплову схему блоку Solar Cell в роботі [5] доповнено блоками, що відповідають за надходження сонячної енергії до приймальної поверхні сонячного елемента та відведення тепла від нього до оточуючого середовища. Для цього використано такі блоки бібліотеки Simulink, як Controlled Heat Flow Rate Source, Temperature Source, Convective Heat Transfer, Radiative Heat Transfer та Thermal Reference (рис. 2).

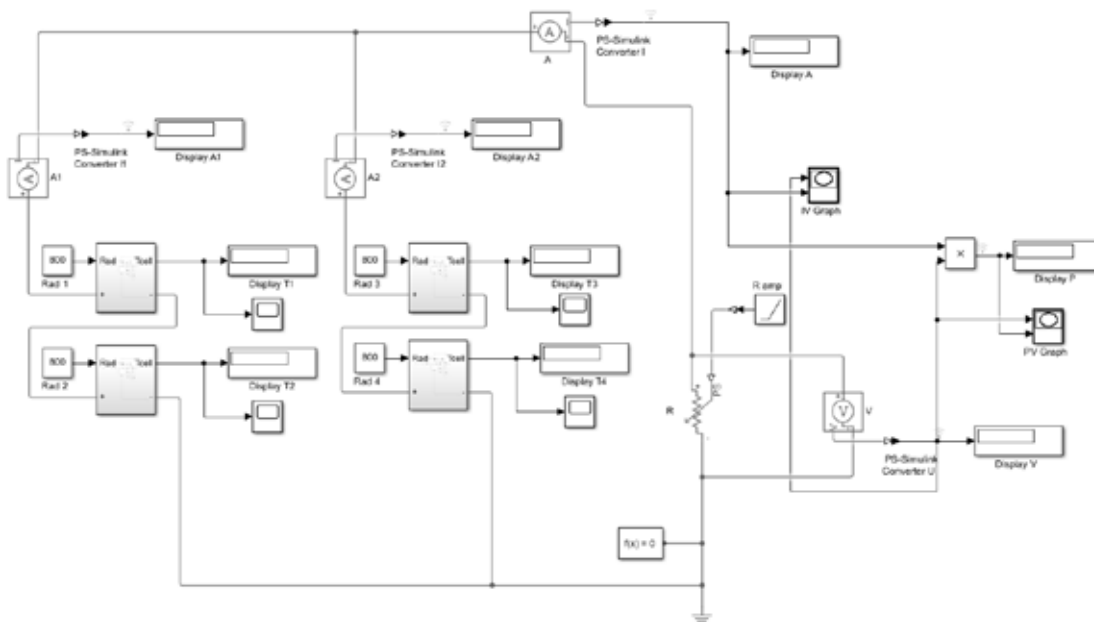


Рис. 1. Блочна модель сонячної панелі [5]

Відбиття частини сонячного випромінювання від покриття панелі та поверхні самого фотоелектричного перетворювача враховується блоком множення Panel albedo. Приймається, що відведення теплоти від фронтальної та тильної поверхні панелі в оточуюче середовище відбувається переважно конвекцією та випромінюванням.

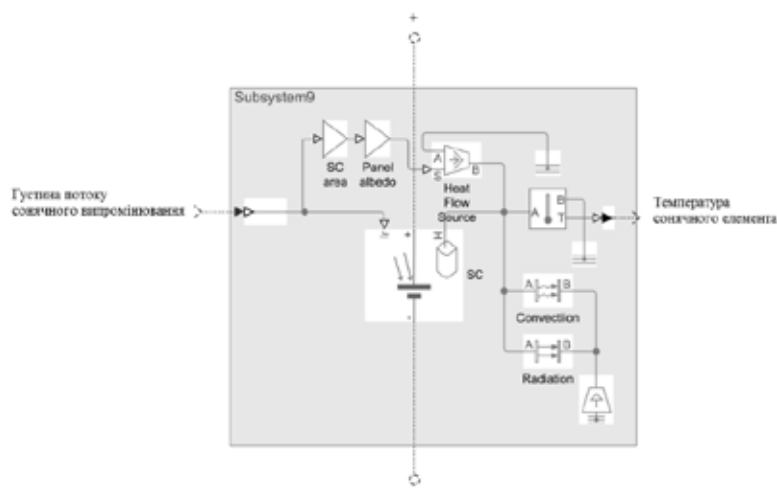


Рис. 2. Вдосконалена теплова схема блоку Solar Cell [5]

Моделювання електричних параметрів панелі LG290N1C в діапазоні актуальних для наземних сонячних електростанцій щільностей потоку сонячного випромінювання p , від 100 Вт/м^2 до 1000 Вт/м^2 дозволило отримати результати, розбіжність яких у порівнянні з паспортними значеннями, вказаними виробником, не перевищувала 3%, що засвідчує коректність запропонованої у [5] моделі. У зв'язку з цим дану блочну модель було обрано в якості базової для постановки подальших досліджень.

Формулювання мети дослідження

Мета даної роботи – у середовищі MATLAB/Simulink змоделювати роботу фотоелектричної панелі в умовах неоднорідного розподілу потоку сонячного випромінювання по площі приймальної поверхні та встановити вплив неоднорідності опромінення на параметри панелі.

Викладення основного матеріалу дослідження

Моделювання світлових вольт-амперних характеристик (ВАХ) та характеристик потужності при нерівномірному надходженні сонячного випромінювання до поверхні панелі проводилось засобами MATLAB/Simulink із застосуванням принципів побудови моделі сонячної панелі, викладеними у [5]. На основі аналізу отриманих світлових ВАХ та характеристик потужності, який здійснювався за стандартною методикою [1], визначались такі параметри панелі, як: струм короткого замикання I_{SC} , напруга холостого ходу U_{OC} , максимальна електрична потужність P_m , струм I_m та напруга U_m в точці максимальної потужності.

В якості основного блоку при побудові моделі сонячної панелі використовувався блок Solar Cell у наближенні однокспоненційного рівняння світлової ВАХ фотоелектричного перетворювача [6], яке відповідає однодіодній еквівалентній схемі:

$$I = I_L - I_s \cdot \left[e^{\frac{q_e(U+IR_s)}{AkT}} - 1 \right] - \frac{U + IR_s}{R_p}, \quad (1)$$

де I – струм фотоелектричного перетворювача;

U – напруга на фотоелектричному перетворювачі;

I_L – величина фотоструму;

I_s – струм насичення діоду;

A – коефіцієнт якості діоду;

k – постійна Больцмана;

q_e – елементарний заряд;

T – абсолютна температура фотоелектричного перетворювача;

R_s – внутрішній послідовний опір фотоелектричного перетворювача;

R_p – шунтуючий опір фотоелектричного перетворювача.

Оскільки шунтуючий опір фотоелектричних перетворювачів R_p зазвичай на декілька порядків більший за послідовний R_s , то рівняння (1) спрощується і приймає вигляд:

$$I = I_L - I_s \cdot \left[e^{\frac{q_e(U+IR_s)}{AkT}} - 1 \right]. \quad (2)$$

Враховуючи, що фотострум I_L приблизно дорівнює струму короткого замикання I_{SC} [6], для однозначного визначення світлової ВАХ при заданому рівні сонячної інсоляції та температурі достатньо задати для кожного з фотоелектричних перетворювачів панелі наступні його параметри: $I_{SC} \approx I_L$, I_s , R_s та A . Втім, значення струму насичення діоду можна визначити і за напругою холостого ходу, поклавши в рівнянні (2) значення струму $I = 0$:

$$I_s = I_{SC} \cdot \left[e^{\frac{q_e U_{OC}}{AkT}} - 1 \right]^{-1}. \quad (3)$$

Отже, світлова ВАХ фотоелектричного перетворювача при фіксованих світловому потоці та температурі повністю задається такими його параметрами, як струм короткого замикання I_{SC} , напруга холостого ходу U_{OC} , внутрішній послідовний опір R_s та коефіцієнт якості діоду A .

На світлову ВАХ фотоелектричних перетворювачів суттєво впливає інтенсивність сонячного випромінювання і температура. Так, залежність фотоструму I_L від щільності потоку сонячного випромінювання p_r є лінійною і записується у вигляді:

$$I_L = I_{L0} \cdot \left(\frac{p_r}{p_{r0}} \right), \quad (4)$$

де I_{L0} – фотострум при щільності світлового потоку p_{r0} .

Втім, величина фотоструму залежить і від температури фотоелектричного перетворювача T : з підвищенням температури фотострум збільшується, що пов'язано зі зменшенням ширини забороненої зони напівпровідника. Ця залежність є лінійною і може бути записана у вигляді:

$$I_L(T) = I_L(T_m) \cdot [1 + \alpha_I \cdot (T - T_m)], \quad (5)$$

де $I_L(T_m)$ – фотострум при температурі T_m ;

α_I – температурний коефіцієнт струму.

Температурна залежність струму насичення діоду задається рівнянням:

$$I_s(T) = I_s(T_m) \cdot \left(\frac{T}{T_m}\right)^{\frac{m_{Is}}{A}} \cdot e^{-\frac{q_c E_g}{AkT} \left(\frac{T}{T_m} - 1\right)} \tag{6}$$

де $I_s(T_m)$ – струм насичення при температурі T_m ;

m_{Is} – температурний показник струму насичення;

E_g – ширина забороненої зони напівпровідника.

Моделювання проводилось на прикладі фотоелектричних перетворювачів сонячної панелі LG290N1C [7]. Для цього за методикою, описаною в [4], визначались параметри окремих фотоелектричних перетворювачів, виходячи з паспортних параметрів панелі, наведених для умов STC. Параметри сонячних елементів панелі LG290N1C, що використовувались в якості вхідних даних під час моделювання, наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри фотоелектричних перетворювачів панелі LG290N1C в умовах STC

I_{sc} , А	U_{oc} , В	R_s , Ом	A
9,8	0,653	0,0053	1,204

Проводилось моделювання впливу неоднорідного опромінення приймальної поверхні на параметри панелі, що складається з чотирьох фотоелектричних перетворювачів. Розглянуто випадки послідовної (рис. 3) та змішаної (послідовно-паралельної) комутації сонячних елементів в панелі (рис. 1).

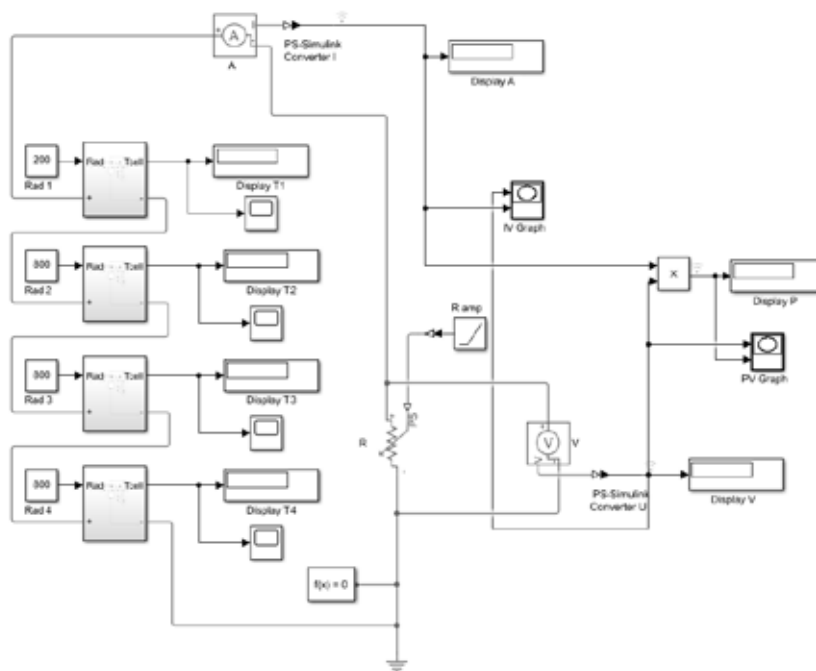


Рис. 3. Блочна модель сонячної панелі з послідовною комутацією фотоелектричних перетворювачів

Неоднорідність опромінення приймальної поверхні панелі задавалась шляхом зміни щільності потоку сонячної радіації, що надходить до фотоелектричного перетворювача з номером 1 (блок констант Rad 1), в діапазоні від 0 до 800 Вт/м². Інші фотоелектричні перетворювачі панелі вважались не затіненими, і щільність потоку сонячного випромінювання для них задавалась у блоках Rad 2 – Rad 4 на рівні 800 Вт/м². Температура оточуючого середовища приймалась такою, що дорівнює 20 °С.

Результати моделювання параметрів панелі з чотирьох послідовно з'єднаних фотоелектричних перетворювачів представлено в табл. 2. На рис. 4–5 наведено графічні залежності параметрів цієї панелі від щільності потоку сонячного випромінювання p_r , що надходить до першого фотоелектричного перетворювача. Значення $p_r = 800$ Вт/м² відповідає однорідному надходженню світлового потоку до всієї приймальної поверхні панелі, тобто випадку відсутності затінення.

Таблиця 2

Параметри панелі з послідовною комутацією фотоелектричних перетворювачів при затіненні та без затінення

p_r , Вт/м ²	I_{SC} , А	U_{OC} , В	I_m , А	U_m , В	P_m , Вт
50	0,489	2,348	0,484	2,243	1,085
100	0,979	2,369	0,968	2,244	2,172
150	1,470	2,378	1,453	2,237	3,250
200	1,961	2,383	1,938	2,227	4,316
800	7,889	2,375	7,443	1,965	14,624

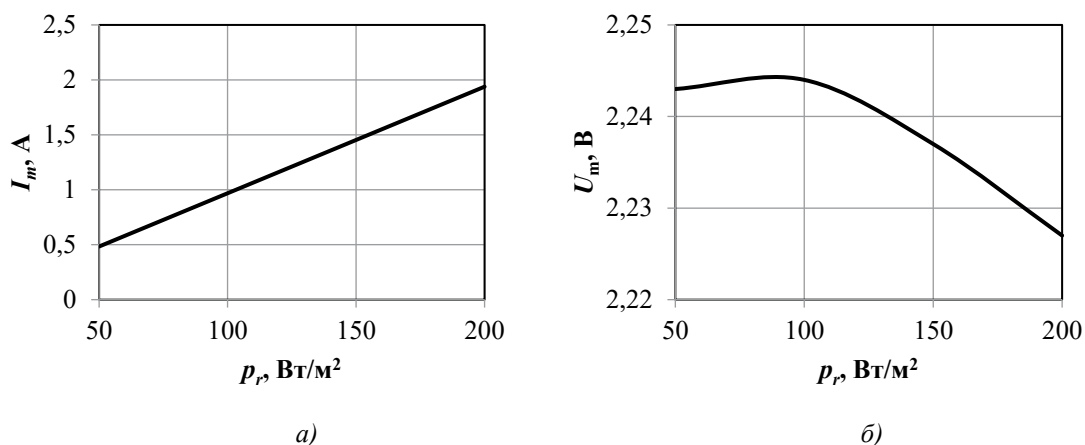


Рис. 4. Залежність струму (а) та напруги (б) в точці максимальної потужності від щільності світлового потоку на затіненому елементі панелі при послідовній електричній комутації

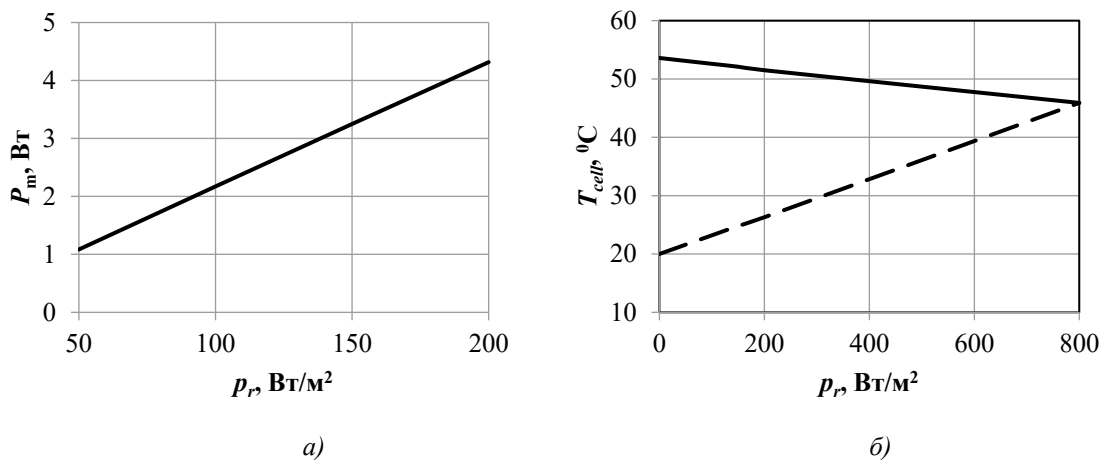


Рис. 5. Залежність максимальної електричної потужності панелі (а) та температур (б) затіненого (штрихова лінія) та незатіненних (суцільна лінія) фотоелектричних перетворювачів від щільності світлового потоку на затіненому елементі при послідовній комутації

Як видно з аналізу результатів моделювання, струм в точці максимальної потужності I_m (рис. 4, а) та максимальна потужність панелі P_m (рис. 5, а) практично лінійно зменшуються зі зменшенням інтенсивності світлового потоку на затіненому фотоелектричному перетворювачі. В той же час, напруга, що відповідає точці максимальної потужності U_m , демонструє максимум поблизу щільності потоку сонячного випромінювання 100 Вт/м² (рис. 4, б). Це пояснюється спільною дією температурних та радіаційних факторів, зокрема, перерозподілом по мірі зменшення p_r внеску в загальну напругу панелі затіненого та незатіненних фотоелектричних перетворювачів, що мають різні температури (рис. 5, б).

Отримані результати моделювання підтверджують той факт, що при послідовній комутації неоднорідність опромінення приймальної поверхні панелі здатна суттєво погіршити вихідну електричну потужність, оскільки затінені фотоелектричні перетворювачі блокують струм в електричному колі. Це викликає необхідність застосування байпас-діодів, підключених паралельно до кожного фотоелектричного перетворювача або їх групи.

В табл. 3 та на рис. 6 – 7 представлені результати моделювання для випадку змішаної електричної комутації фотоелектричних перетворювачів в панелі при різних щільностях потоку сонячного випромінювання, що надходять на перший елемент (рис. 1).

Таблиця 3

Параметри панелі зі змішаною комутацією фотоелектричних перетворювачів при затіненні та без затінення

p_r , Вт/м ²	I_{sc} , А	U_{oc} , В	I_m , А	U_m , В	P_m , Вт
0	7,889	1,183	7,444	0,983	7,314
50	8,378	1,187	7,897	0,987	7,796
100	8,868	1,190	8,377	0,989	8,279
150	9,359	1,192	8,847	0,991	8,766
200	9,850	1,193	9,301	0,993	9,254
800	15,777	1,190	14,889	0,983	14,631

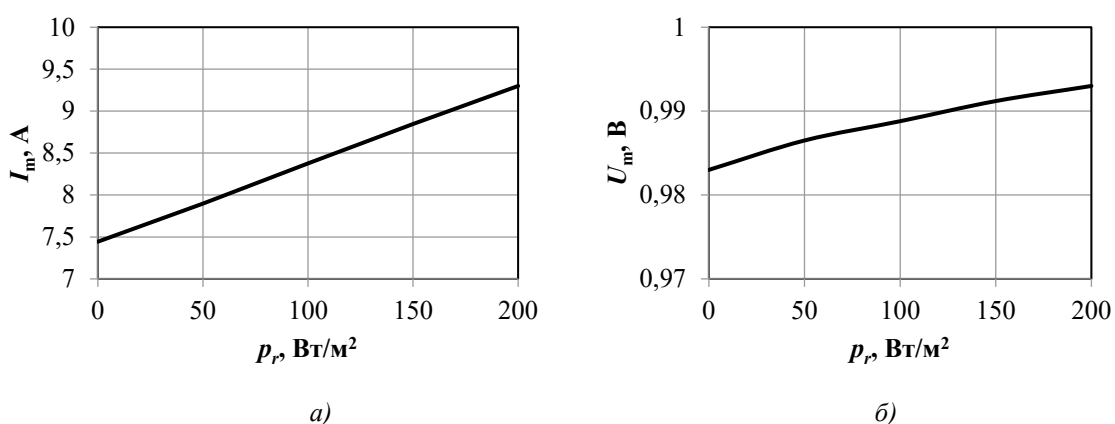


Рис. 6. Залежність результуючого струму (а) та напруги (б) в точці максимальної потужності від щільності світлового потоку на затіненому елементі панелі при змішаній електричній комутації

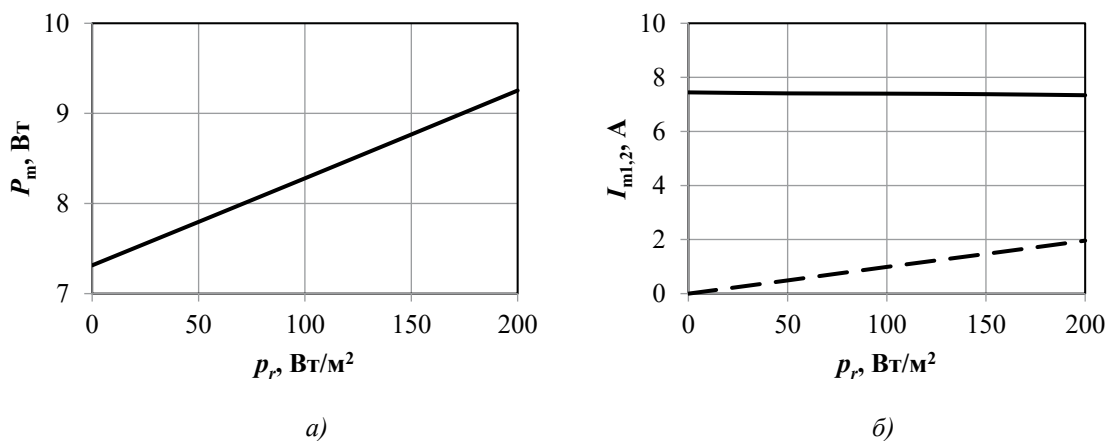


Рис. 7. Залежність максимальної електричної потужності панелі (а) та струмів (б) у гілці із затіненим елементом (штрихова лінія) та незатіненій гілці (суцільна лінія) від щільності світлового потоку на затіненому елементі

Аналіз наведених результатів моделювання показує, що при наявності в панелі паралельних гілок навіть повне затінення фотоелектричного перетворювача в одній із них не блокує генерацію. Відбувається блокування лише гілки із затіненим перетворювачем, в той час як інші гілки продовжують генерувати струм у коло навантаження (рис. 7, б). Потужність панелі при цьому зменшується пропорційно кількості гілок, що мають затінений елемент. Це вказує на певні переваги застосування паралельного з'єднання фотоелектричних перетворювачів в панелі, що і реалізується в технології Half Cell.

По мірі збільшення щільності потоку сонячного випромінювання p_r зростає і струм у гілці, загальний струм панелі збільшується, а разом з ним, і генерована електрична потужність.

Висновки

З використанням середовища MATLAB/Simulink проведено моделювання впливу неоднорідності надходження сонячної радіації до приймальної поверхні на параметри фотоелектричної панелі.

Показано, що при послідовній комутації фотоелектричних перетворювачів зменшення надходження сонячного випромінювання на поверхню навіть одного з них є критичним і призводить до суттєвого падіння вироблення електричної енергії панеллю, а при повному затіненні відбудеться блокування генерації, що викликає необхідність застосування байпас-діодів в конструкції таких панелей.

При послідовно-паралельній комутації фотоелектричних перетворювачів навіть повне затінення сонячного елемента в одній із гілок не спричиняє критичних наслідків щодо генерації електричної потужності сонячною панеллю в цілому. Так, при наявності у складі панелі двох паралельних гілок повне затінення фотоелектричного перетворювача в одній із них зменшує генеровану потужність удвічі в порівнянні з незатіненим випадком. По мірі зменшення затінення фотоелектричного перетворювача зростає струм в гілці, загальний струм панелі збільшується, а відповідно зростає і генерована електрична потужність. Результати моделювання корелюють з описаними в літературних джерелах закономірностями, що вказує на коректність використаної моделі.

Список використаної літератури

1. Фолькер К. Системы возобновляемых источников энергии / К. Фолькер. Астана: Фолиант, 2013. 432 с.
2. System Advisor Model (SAM) [Електронний ресурс] / NREL [Сайт]. Режим доступу: <https://sam.nrel.gov/> (дата звернення: 24.05.23). Назва з екрану.
3. PV*SOL premium [Електронний ресурс] / VALENTIN software [Сайт]. Режим доступу: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/> (дата звернення: 24.05.23). – Назва з екрану.
4. Андропова О.В. Моделювання роботи фотоелектричних панелей з використанням середовища MATLAB/Simulink / О.В. Андропова, В.В. Курак, Н.Л. Дон. Вісник ХНТУ. 2021. № 3(78). С. 11-19. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.3.1>
5. Курак В.В. Моделювання впливу інтенсивності сонячного опромінення на параметри фотоелектричної панелі / В.В. Курак, М.О. Мельник. Матеріали X Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню ракетно-космічної галузі України: Збірник наукових праць, 12 квітня 2023 р., Херсон-Хмельницький / Херсонський нац. техн. ун-т [та ін.]. Херсон-Хмельницький: Видавництво ФОП Вишемирський В.С., 2023. С. 117-119.
6. Курак В.В. Експериментальне визначення потоку сонячного випромінювання із застосуванням паспортних параметрів модуля фотоелектричних перетворювачів/ В.В. Курак, О.В. Андропова. Вісник ХНТУ. 2021. № 1(76). С. 35-42. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.1.4>
7. LG290N1C-G3. Product Specifications [Electronic resource]. Режим доступу: <https://eclass.duth.gr/modules/> (дата звернення: 4.11.20). Назва з екрану.

References

1. Folker K. (2013) *Sistemy vozobnovljaemyh istochnikov energii* [Renewable energy systems]. Astana, Foliant Publ., 432 p.
2. System Advisor Model (SAM). Available at: <https://sam.nrel.gov/> (accessed 24 May 2023).
3. PV*SOL premium. Available at: <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/> (accessed 24 May 2023).
4. Andronova O.V., Kurak V. V., Don N.L. (2021) Simulation of photovoltaic panels operation using MATLAB/Simulink. *Visnyk KNTU*, no.3 (78), pp. 11-19. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.3.1>
5. Kurak V.V. Melnyk M.O. (2023) Modeluvannya vplyvu intensyvnosti sonyachnoho oprominennya na parametry fotoelektrychnoyi paneli [Simulation of the influence of solar radiation intensity on photoelectrical panel parameters]. *Materialy X Vseukrayinskoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi здобувачів вищої освіти та молодих вчених з автоматичного управління присвяченої Дню ракетно-космічної галузі України* [Abstracts of 10th Ukrainian Sci. and Pract. Conf. of Graduates of Higher Education and Young Scientists on Automatic Control Dedicated to the Day of the Missile and Space Industry of Ukraine]. Kherson- Khmelnytskyi, pp. 117-119.
6. Kurak V.V., Andronova O.V. (2021) Experimental determination of the solar radiation flux using passport parameters of the photovoltaic module. *Visnyk KNTU*, no. 1 (76), pp. 35-42. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.1.4>
7. LG290N1C-G3. Product Specifications. Available at: <https://eclass.duth.gr/modules/> (accessed 4 November 2020).