ISSN 0002-306X. ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղ. Տեխն. գիտ. սերիա. 2015. Հ. LXVIII, N2.

*Հ*SԴ 621.382

ՌԱԴԻՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

Կ.Գ. ԱՅՎԱՉՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ

ՄԱՄՆԱԿԻՈՐԵՆ ՍՏՎԵՐՎԱԾ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՈՎ ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՄՈԴՈՒԼԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՄՈԴԵԼԱՎՈՐՈՒՄԸ ԵՎ ՀԵՏԱՉՈՏՈՒՄԸ

Փորձնականորեն հետազոտվել և Bishop-ի մոդելի հիման վրա մոդելավորվել են մասնակիորեն ստվերված արևային մոդուլների վոլտամպերային և հզորության բնութագրերը: Ցույց է տրվել, որ այդպիսի մոդուլների հզորության կորուստները համարժեք չեն ստվերված տիրույթի ընդհանուր մակերեսին:

Առանցքային բառեր. արևային մոդուլ, բնութագիր, ստվերված մակերևույթ, հզորության կորուստ:

Արևային էներգիայի անմիջական փոխարկումը էլեկտրականի կատարվում է կիսահաղորդչային արևային էլեմենտների (ԱԷ) միջոցով: Վերջիններս հաջորդաբար և զուգահեռ համապատասխան միացումներով հավաքվում են մեկ արևային մոդուլի մեջ` ապահովելով լարման և հոսանքի պահանջվող արժեքները [1]։

Շահագործման ռեժիմում արևային մոդուլների արդյունավետության վրա բացասաբար ազդող գործոններից է ԱԷ-երի մասնակիորեն ստվերումն արտաքին արգելքներով, ամպերով կամ հարևան արևային մոդուլներով։ Ստվերի ազդեցությունը հանգեցնում է մոդուլների ելքային բնութագրերի վատացմանը և հզորության կորուստների:

Գրականության մեջ ստվերման ազդեցությունը մոդելավորելու համար հիմնականում կիրառվում է ԱԷ-ի մեկ դիոդային մոդելի հիման վրա ստացված ԱԷ-ի վոլտամպերային բնութագրի (ՎԱԲ) հետևյալ արտահայտությունը [2-5].

$$I = I_{ph} - I_0 \left[exp\left(\frac{q(V+R_sI)}{dkT}\right) - 1 \right] - \frac{V+R_sI}{R_{sh}} , \qquad (1)$$

որտեղ I_{ph}-n ֆոտոհոսանքն է, I₀-ն՝ հագեցման հոսանքը, q/kT-ն՝ ջերմային պոտենցիալը, k-ն՝ Բոլցմանի հաստատունը, T-ն՝ բացարձակ ջերմաստիձանը, q-ն՝ էլեկտրոնի լիցքը, d-ն՝ իդեալականացնող (դիոդային) գործակիցը, V-ն՝ կիրառված լարումը, R_s-ն և R_{sh}-ն՝ համապատասխանաբար պարազիտային հաջորդական և զուգահեռ դիմադրությունները:

Նշված արտահայտությունը նկարագրում է ԱԷ-ի ՎԱԲ-ը լարման դրական (լուսային) տիրույթում: Մյուս կողմից, երբ արևային մոդուլի ԱԷ-երից մեկը կամ մի քանիսը ստվերված են, ապա դրանք որոշակի պայմաններում սկսում են գործել հակառակ ուղղությամբ` բացասական լարման (մթնային) տիրույթում: Այս դեպքում մեկ դիոդային մոդելի կիրառումը կարող է հանգեցնել մեծ սխալների: Մասնավորապես, ենթադրվում է, որ ստվերման հետևանքով հզորության կորուստներն ուղիղ համեմատականորեն կախված են ստվերված մակերևույթի մակերեսից և այդ տիրույթում լույսի ինտենսիվության նվազման աստիՃանից [4-7]։

Աշխատանքում մասնակիորեն ստվերված մակերևույթով արևային մոդուլի մոդելավորման համար կիրառվել է, այսպես կոչված, "Bishop-ի մոդելը", որը նկարագրում է ԱԷ-ի վարքը լարման դրական (լուսային) և բացասական (մթնային) տիրույթներում [6]։ Ըստ այդ մոդելի` ԱԷ-ի համարժեք սկզբունքային էլեկտրական սխեման ունի նկ. 1-ում պատկերված տեսքը և մեկ դիոդային մոդելի սկզբունքային էլեկտրական սխեմայից տարբերվում է հակադարձ շեղված ք հոսանքի գեներատորի առկայությամբ:



Նկ. 1. ԱԷ-ի համարժեք սկզբունքային էլեկտրական սխեման՝ ըստ Bishop-ի մոդելի

Bishop-ի մոդելի հիման վրա ԱԷ-ի ՎԱԲ-ը նկարագրվում է հետևյալ արտահայտությամբ [8].

$$I = I_{ph} - I_0 \left[exp\left(\frac{q(V+R_SI)}{dkT}\right) - 1 \right] - \frac{V+R_SI}{R_{sh}} - a\left(\frac{V+R_SI}{R_{sh}}\right) \left(1 - \frac{V+R_SI}{V_{br}}\right)^{-m},\tag{2}$$

որտեղ V_{br} -ն թունելային ծակման լարումն է, a-ն և m-ն հաստատուն մեծություններ են:

Քանի որ արևային մոդուլները գործնականում գերազանցապես հավաքվում են հաջորդաբար միացված ԱԷ-երով, ուստի դիտարկենք այդպիսի մոդուլ՝ բաղկացած *k* հատ ոչ ստվերված (նորմալ) և *n* հատ մասնակիորեն ստվերված ԱԷ-ներից: Մոդուլի ընդհանուր ելքային հոսանքը, լարումը և հզորությունը որոշվում են հետևյալ արտահայտություններով.

$$I_M = I_1 = I_2, V_M = V_1 + V_2, P_M = V_M I_M,$$
(3)

որտեղ I_1 -ը, I_2 -ն և V_1 -ը, V_2 -ն համապատախանաբար նորմալ և ստվերված ԱԷ-երի հոսանքները և լարումներն են, որոնք որո2վում են (2) արտահայտությամբ, երբ.

$$R_{s1} = kR_s, R_{s2} = nR_s, R_{sh1} = kR_{sh}, R_{sh2} = nR_{sh}, I_{01} = I_{02} = I_0,$$

$$I_{ph1} = \frac{I_{rr}}{I_{rr}^*} I_{ph}^* [1 + \alpha_T (T - T_0)], I_{ph2} = \frac{I_{rr}}{I_{rr}^*} I_{ph}^* \frac{\beta}{100} [1 + \alpha_T (T - T_0)],$$

Այստեղ "1" և "2" ենթատողային ինդեքսները համապատասխանաբար վերաբերում են նորմալ և մասնակիորեն ստվերված տիրույթներին, I_{rr} -ն արևային Ճառագայթման ինտենսիվությունն է, I_{rr}^* -ի և I_{ph}^* -ն` համապատասխանաբար արևային Ճառագայթման ինտենսիվությունը և ֆոտոհոսանքը ստանդարտ պայմաններում, β -ն` լույսի թափանցելիության գործակիցը տոկոսներով (β =100% - ԱԷ-ն ստվերված չէ, β =0% - ԱԷ-ն անթափանց է լույսի համար), α_T -ն` հոսանքի ջերմաստիձանային գործակիցը, *T*-ն` աշխատանքային ջերմաստիձանը, T_0 - ն` սենյակային ջերմաստիձանը:

Մասնակիորեն ստվերված արևային մոդուլների բնութագրերի մոդելավորման համար կիրառվել է MatLab-Simulink ծրագրային միջավայրը։ Մշակված Simulink մոդելը բերված է նկ. 2-ում։ Այն թույլ է տալիս մոդելավորել մոդուլի ելքային հզորության և վոլտամպերային բնութագրերը` կախված լույսի թափանցելիության գործակցից, շրջապատի ջերմաստիձանից, ստվերացված ԱԷ-երի քանակից և ձառագայթման ինտենսիվությունից:



Նկ. 2. Ստվերված արևային մոդուլի Simulink մոդելը

Մոդուլների փորձնական հետազոտություններն իրականացվել են դաշտային պայմաններում բնական լույսի տակ։ Հետազոտական սարքավորման սխեմատիկ պատկերը ցույց է տրված նկ. 3-ում։ Լարման և հոսանքի չափումներն իրականացվել են փոփոխական R_{բեռ} դիմադրությամբ բեռով` վոլտմետրի և ամպերմետրի միջոցով։ Փորձերի ընթացքում տարբեր հաստության մոմաթղթերով և մուգ ցանցային կտորով մասնակիորեն ստվերվել է առնվազն մեկ ԱԷ-ի մակերևույթը:



Նկ. 3. Հետազոտական սարքավորման սխեմատիկ պատկերը

Արևային մոդուլների բնութագրերի մոդելավորումը և փորձնական հետազոտումն իրականացվել են 36 հատ հաջորդաբար միացված սիլիցիումային ԱԷ-երից բաղկացած կոմերցիոն նշանակությամբ արևային մոդուլների համար, որոնց շրջանցող (bypass) դիոդները ապամոնտաժված էին։

Նկ. 4–ում ցույց են տրված մեկ ստվերված ԱԷ-ով (*n*=1) արևային մոդուլի հաշվարկային ՎԱԲ-երը, ելքային հզորության կորերը և չափումների արդյունքները երեք տարբեր ստվերման աստի*ճ*անների դեպքում` *β* = 100, 50 և 30%։



Նկ. 4. Մեկ ստվերված ԱԷ-ով արևային մոդուլի վոլտամպերային և հզորության բնութագրերը

Ինչպես երևում է ներկայացված բնութագրերից, ստվերված ԱԷ-ի առկայությունը հանգեցնում է ՎԱԲ-րի տեսքի դեֆորմացիային և ելքային հզորության կորուստների: Լույսի թափանցելիության գործակիցի փոքրացմանը զուգընթաց նկատելիորեն փոքրանում է մոդուլի կարձ միացման հոսանքը, իսկ պարապ ընթացքի լարումը գրեթե մնում է անփոփոխ:

Նկ. 5–ում բերված են արևային մոդուլի հաշվարկային ՎԱԲ-երը և չափումների արդյունքները՝ ստվերված ԱԷ-երի տարբեր քանակների համար՝ n = 1, 2 և 3 ($\beta = 30\%$ արժեքի դեպքում)։ Հաշվարկային ՎԱԲ-երը I_{rr} ճառագայթման ինտենսիվության տարբեր արժեքների դեպքում ներկայացված են նկ. 6-ում (n = 1 և $\beta = 30\%$)։



Մտվերված ԱԷ-երի քանակի ավելացումը կտրուկ փոքրացնում է արևային մոդուլի կարձ միացման հոսանքը` աննշան փոքրացնելով պարապ ընթացքի լարումը: Ինտենսիվության նվազումը հանգեցնում է արևային մոդուլի ինչպես կարձ միացման հոսանքի, այնպես էլ պարապ ընթացքի լարման փոքրացմանը:

Աղյուսակում խմբավորված են դիտարկված դեպքերի համար ստվերման հետևանքով արևային մոդուլների ելքային հզորությունների կորուստների արժեքները, որոնք գնահատվել են հետևյալ բանաձևով.

$$\mu = \frac{P_{mn} - P_{ms}}{P_{mn}}.\,100\%,\tag{4}$$

որտեղ *P_{mn}* և *P_{ms}-*ն համապատասխանաբար նորմալ և ստվերված մոդուլների առավելագույն հզորություններն են:

Աղյուսակ

N	Արևային մոդուլի նկարագիրը	Հզորության կորուստը, μ (%)
1	Նորմալ ԱԷ-երով (<i>n</i> =0 և β =100%)	0
2	Մեկ ստվերված ԱԷ-ով (n =1 և β =50%)	64,38
3	Մեկ ստվերված ԱԷ-ով (n =1 և β =30%)	75,23
4	Երկու ստվերված ԱԷ-երով (n =2 և β =30%)	76,58
5	Երեք ստվերված ԱԷ-երով ($n = 3 \ln \beta = 30\%$)	77,42

Արևային մողուլների հզորության կորուստները

Աղյուսակից հետևում է, որ արևային մոդուլների նույնիսկ մեկ ԱԷ-ի մասնակիորեն ստվերումը հանգեցնում է հզորության զգալի կորուստների, ընդ որում, կորուստները համարժեք չեն ստվերված մակերևույթի մակերեսին: Այսպես, մեկ ստվերված ԱԷ-ն (ընդհանուր մակերեսի 2,77%-ը) ուղեկցվում է 65...75 % հզորության կորուստներով: Ստվերված մակերևույթի մակերեսի կրկնապատումը կամ եռապատումը հզորության կորուստները մեծացնում են աննշան չափով:

Վերջում անհրաժեշտ է նշել տեսական և փորձնական արդյունքների բավարար համապատասխանությունը, որը տվյալ դեպքում վկայում է մշակված Simulink մոդելի մեծ Ճշտության մասին։

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

- Shen W.X. Optimally Sizing of Solar Array and Battery in a Standalone Photovoltaic System // Renewable Energy. - 2009.-34 (1).- P. 348–352.
- 2. Manju B. Sree, Ramaprabha R., Mathur B.L. Design and Modeling of Standalone Solar Photovoltaic Charging System // Int. J. of Computer Appl.- 2011.- 18, 2.- P. 41-47.
- 3. **Pachpande S.G., Zope H.P.** Studying the Effect of Shading on Solar Panel using MATLAB // Int. J. of Sci. and Appl. Inf. Technology.- 2012. -1, 2. P. 46-51.
- 4. **Kubba Z.M.** Analysis of Partially Shaded PSPICE PV Modules for Series- Parallel and TCT Configuration // J. of Al-Nahrain University.- 2013. 16 (4).- P.94-100.
- Chihong Park, Nari Yoon. Numerical Analysis of Si-based Photovoltaic Modules with Different Interconnection Methods // Transaction on Electrical and Electronic Materials.-2014.-15, 2.- P. 103-111.
- Kaushika N., Gautam N. Energy Yield Simulations of Interconnected Solar PV Arrays // IEEE Transactions on Energy Conversion.- 2003.- 18, N 1.- P. 127–134.
- Kawamura H., Naka K., Yonekura N., Ohno H. Simulation of I-V Characteristics of a PV Module with Shaded PV Cells // Solar Energy Materials & Solar Cells.- 2003.- 75.- P. 613–621.
- Bishop J.W. Computer Simulation of the Effects of Electrical Mismatches in Photovoltaic Cell Interconnection Circuits// Solar Cells.-1988.-25.- P. 73–89.

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարարն։ Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 11.02.2015։

К.Г. АЙВАЗЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИЧНО ЗАТЕНЕННЫХ СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ

Экспериментально исследованы и на основе модели Bishop смоделированы вольтамперные и мощностные характеристики частично затененных солнечных станций. Показано, что уменьшение выходной мощности этих станций непропорционально площади затененной поверхности.

Ключевые слова: солнечный модуль, характеристика, затененная поверхность, потеря мощности.

K.G. AYVAZYAN, S.K. KHUDAVERDYAN

MODELING AND INVESTIGATING THE CHARACTERISTICS OF PARTIALLY SHADED SOLAR MODULES

I-V and P-V characteristics of partially shaded solar modules have experimentally been investigated and modeled based on the Bishop model. It is shown that the decrease in the power production of such solar modules is not proportional to the area of the shaded surface. *Keywords:* solar module, characteristic, shaded surface, power loss.