

REAL QUYOSH ELEMENTLARINING PARAMETRLARINI ANIQLASHDA ENG KICHIK KVADRATLAR USULI

M.Z.Nosirov, S.D.Matboboyeva, N.A.Mirzaalimov
Andijon davlat universiteti, Universitet ko'chasi 129 uy, Andijon shahri,
O'zbekiston, 170100.

Email: mirzaalimov90@mail.ru

Tel: +998977559300

Annotatsiya. Maqolada bitta trassendent tenglamani yechish va volt-amper xarakteristika bo'yicha tajribada olingan natijalarni "Eng kichik kvadratlar usuli" yordamida qayta ishlash orqali real quyosh elementlarining asosiy parametrlarini aniqlash usuli taklif etilgan va dastur tuzilgan. Hisob-kitob natijalarining tajriba natijalariga juda yaqinligi usulning samaradorligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: quyosh elementi, parametrlar, eng kichik kvadratlar usuli, foydali ish koeffitsiyenti.

МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РЕАЛЬНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Носиров М.З., Матбобаева С.Д., Мирзаалимов Н.А.
Андижанский государственный университет, д. 129, ул. Университетская, г.
Андижан, Узбекистан, 170100.

Email: mirzaalimov90@mail.ru

Тел: +998977559300

Аннотация. В статье предложен метод определения основных параметров реальных солнечных элементов путем решения одного трансцендентного уравнения и обработки результатов, полученных в эксперименте по вольт-амперной характеристике с использованием «Метода наименьших квадратов» и создана программа. Близость результатов расчета к результатам эксперимента свидетельствует об эффективности метода.

Ключевые слова: солнечный элемент, параметры, метод наименьших квадратов, коэффициент полезной работы.

LEAST SQUARE METHOD FOR DETERMINING PARAMETERS OF REAL SOLAR CELLS

M.Z.Nosirov, S.D.Matboboyeva, N.A.Mirzaalimov
Andijan State University, 129, str. University, Andijan city, Uzbekistan, 170100.
Email: mirzaalimov90@mail.ru

Tel: +998977559300

Abstract. The article proposes a method for determining the main parameters of real solar cells by solving one transcendental equation and processing the results obtained in an experiment on the current-voltage characteristic using the “Least Squares Method” and creates a program. The closeness of the calculation results to the experimental results indicates the effectiveness of the method.

Key words: solar cell, parameters, least squares method, efficiency factor.

Kirish

XXI asrning boshlarida insoniyat an'anaviy energiya manbalarining tugashi va ekologik holatning yomonlashishi bilan bog'liq muammolarga duch keldi. Shuning uchun sanoati rivojlangan mamlakatlarda qayta tiklanadigan energiya manbalari, jumladan, quyosh energiyasiga asoslangan tizimlarni rivojlantirishga katta e'tibor berila boshlandi. Hisob-kitoblarga ko'ra, XXI asrda quyosh energetikasini rivojlantirish barcha muqobil manbalar orasida asosiy bo'lib qoladi, ya'ni 2050 yilga borib quyosh energiyasi global energiya ishlab chiqarishning 20-25% ni ta'minlaydi va asr oxiriga kelib quyosh energiyasidan foydalanish 60% ga yetishi bilan asosiy energiya manbaiga aylanadi [1,2].

Quyosh Yerni insoniyat ehtiyojlaridan bir necha marta ko'p bo'lgan ulkan energiya bilan ta'minlay oladi. Lekin bu manbadan foydalanish qiyin, chunki Yerdagi quyosh nurlanishi juda tarqoq kichik energiya oqimidir. Quyosh nurlanishidan ommaviy foydalanish uchun undan juda samarali foydalanishni ta'minlash va quyosh elementlarining iqtisodiy xususiyatlarini sezilarli darajada yaxshilash kerak bo'ladi. Shuning uchun Quyoshdan keluvchi yorug'lik energiyasini quyosh batareyalari yordamida elektr energiyasiga aylantirish samaradorligini oshirish quyosh energetikasining asosiy vazifasidir [2,3].

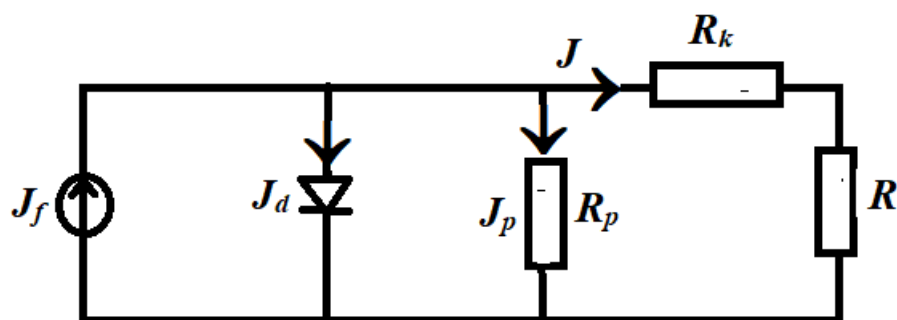
Fotoelektrik o'zgartirgichlarning samaradorligi quyosh elementining yorug'lik volt-amper xarakteristikasi bilan belgilanadi, uning shakli bir qator parametrlarga bog'liq: quyosh elementining ketma-ket va parallel qarshiliklari, to'yinish toki, ideallik koefitsienti va boshqalar [3,4]. Shu munosabat bilan quyosh batareyalarini ishlab chiqarish jarayonida ushbu parametrlarni kuzatish va optimallashtirish vazifasi muhim ahamiyatga ega bo'lib, bu quyosh batareyalarining xususiyatlarini kuzatish tizimini yaratish va ularning parametrlarini aniqlash usullarini takomillashtirishni talab qiladi.

Nazariya va usullar

Quyosh elementlari uchun ideal diod tenglamasi eksperimental natijalarni to'la tavsiflay olmaydi. Shuning uchun diod tenglamasida eksponentning

maxrajiga A koefitsientni kiritish orqali o'zgartiriladi, bu volt-amper xarakteristikasining ideal emasligini hisobga oladi. Biroq, bunda ham u hali tajriba bilan yetarlicha mos kelmaydi. Shuning uchun quyosh elementining parallel qarshiligi R_p va ketma-ket qarshiligi R_q ni hisobga olish zarurati tug'iladi. Real quyosh elementi uchun ketma-ket qarshilik kontakt qatlamlarining ketma-ket bog'langan qarshiliklaridan, elementning p- va n-o'tishlarining qarshiligidan, metall-yarim o'tkazgich o'tish qarshiliklaridan, parallel qarshilik esa p-n- o'tishga parallel ravishda o'tishi mumkin bo'lgan tok kanallari qarshiligidan iborat bo'ladi [5, 6].

Real quyosh elementining ekvivalent sxemasi 1-rasmdagi ko'rinishda bo'lib,



1-rasm. Kremniy asosli real quyosh elementining ekvivalent sxemasi.

$$J = J_f - J_0 \left(\exp \left(\frac{e(U + JR_s)}{AkT} \right) - 1 \right) - \frac{JR_s + U}{R_p} \quad (1)$$

tenglama orqali ifodalanadi, bu yerda J_f - fototok, J_0 - to'yininsh toki, e - elektron zaryadi, A - ideallik koefitsiyenti, k - Bolsman doimiysi, T - temperatura, R_s - ketma-ket qarshilik, R_p - parallel qarshilik [6].

Volt-amper xarakteristikasi quyosh elementining eng muhim xarakteristikasi hisoblanadi, chunki u quyosh energiyasini elektr energiyasiga aylantirish samaradorligini belgilaydi [7, 8]: Quyosh elementining samaradorligi uning volt-amper xarakteristikasi shakliga bog'liq bo'lganligi sababli, volt-amper xarakteristikasi tenglamasiga (1) kiritilgan parametrlar aniqlanadi. Shuning uchun quyosh elementlarini ishlab chiqish ularning parametrlarini ishonchli aniqlash usullaridan foydalanishni talab qiladi.

Quyosh elementining parametrlarini uning volt-amper xarakteristikasidan aniqlashning ko'plab usullari mavjud [9, 10]. Ulardan ba'zilar SC parametrlarining nurlanishga bog'liqligi sababli qabul qilinishi mumkin bo'lmagan turli xil nurlanish intensivligida yoki tashqi elektr tokining turli qiymatlarida olingan bir nechta volt-amper xarakteristikasidan foydalanishga asoslangan [11, 12]. Binobarin, quyosh elementlarining parametrlarini aniqlashning eng maqbul usullari hisob-kitoblar uchun yagona volt-amper xarakteristikasi qo'llaniladigan usullardir [13. 14].

Quyosh elementi parametrlarini aniqlash usullarini amalga oshirishda qo'llaniladigan yaqinlashishlar, shuningdek, eksperimental tarzda aniqlangan va hisob-kitoblarda qo'llaniladigan miqdorlar [15, 16] ishlarda keltirilgan. Parametrlarni aniqlashning eng maqbul usuli volt-amper xarakteristikaning koordinata o'qlariga og'ish burchaklaridan foydalanishga asoslangan [17]. Biroq, bu usul bir nechta muhim kamchiliklarga ega: birinchidan, hisoblashda ishlatiladigan volt-amper xarakteristikaning og'ish burchaklarini to'g'ri aniqlash qiyinligi; ikkinchidan, barcha parametrlarni mustaqil ravishda ifodalashning mumkin emasligi. Ushbu usulda diod ko'effitsientiga dastlab ma'lum bir qiymat berilishi kerak, keyin qolgan parametrlar hisoblab chiqiladi, shundan so'ng topilgan parametr qiymatlari yordamida diod ko'effitsienti yana hisoblab chiqiladi. Sikl hisoblash belgilangan aniqlikka erishilgunga qadar davom etadi. Biroq, siklning yaqinlashishi diod ko'effitsientining boshlang'ich qiymatini tanlashning muvaffaqiyatiga bog'liq bo'lib, noma'lum turdagi quyosh elementi bilan ishlashda buni qilish juda qiyin.

Yuqorida aytib o'tilgan deyarli barcha usullarda hisoblashlar davomida $R_k/R_p \rightarrow 0$ yaqinlashishdan foydalaniladi. Bu yaqinlashishni hisoblash o'rtasida emas, balki boshida qilinsa (1) tenglama

$$J = J_{SC} - J_0 \left(\exp \left(\frac{e(U + JR_s)}{AkT} \right) - 1 \right) - \frac{U}{R_p} \quad (2)$$

ko'rinishga keladi va hisoblashlar ancha soddalashishi mumkin. Lekin, bunda $U=0$ nuqtada

$$J(0) = J_{SC} - J_0 \left(\exp \left(\frac{eJ_{SC}R_s}{AkT} \right) - 1 \right) = J_{SC}$$

qisqa tutashuv tokining qiymati nolga teng bo'lib qoladi $J_{SC}=0$.

Shuning uchun biz taklif etayotgan usulda bu yaqinlashishdan foydalanilmaydi. Ideallik ko'effitsiyenti $A=1$ deb hisoblab, VAX (tok kuchi) tenglamasi (1) va uning hosilasining qisqa tutashuv toki va salt ishlash kuchlanishi nuqtalaridagi qiymatlaridan foydalanilsa, ketma-ket qarshilikni (R_s) aniqlash uchun quyidagi trassendent tenglama hosil bo'ladi:

$$\frac{(1 + bR_s)e(1 + aR_s)(C_1 - C_2)}{AkT(a - b)} - \frac{J_{SC}R_s(C_1 - 1) + U_{OC}(1 - C_2)}{J_{SC}^2R_s} = 0 \quad (3)$$

bu yerda

$$C_1 = \exp \left(\frac{eU_{OC}}{AkT} \right);$$

$$C_2 = \exp\left(\frac{eJ_{SC}R_s}{AkT}\right);$$

$$a = J'(0);$$

$$b = J'(U_{OC});$$

J_{SC} - qisqa tutashuv toki;

U_{OC} - salt ishlash kuchlanishi.

Ketma-ket qarshilik aniqlangach,

$$R_p = R_s \frac{(C_1 - 1)}{(1 - C_2)} + \frac{U_{OC}}{J_{SC}} \quad (4)$$

$$J_0 = \frac{J_{SC} R_s}{R_p (1 - C_2)} \quad (5)$$

ifodalar yordamida parallel qarshilik (R_p) va to'yinish toki (J_0) aniqlanadi.

Kremniy asosli quyosh elementining ideallik koeffitsiyentiga (A) aniqlik kiritish uchun “Eng kichik kvadratlar” usulidan foydalanamiz [18-20]. Ma'lumki, bu usulda tok kuchi va kuchlanish orasidagi bog'lanishni aniqlovchi (1) ifoda tajribada olingan (J_i , U_i) natijalarni qoniqarli tavsiflashi uchun o'rtacha kvadratik hatolik

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \left[J_{SC} - J_0 \left(\exp\left(\frac{e(U_i + J_i R_s)}{AkT}\right) - 1 \right) - \frac{J_i R_s + U_i}{R_p} - J_i \right]^2 \quad (6)$$

minimal bo'lishi kerak. Buning uchun (6) ifodadan A bo'yicha olingan hosila nolga teng bo'lishi kerak

$$\frac{\partial \chi^2}{\partial A} = 0 \quad (7)$$

Bu usul yordamida aniqlangan A kattalik asosida yuqorida topilgan (R_k , R_p , J_0) parametrlarga aniqlik kiritiladi. Barcha parametrlar aniqlangach, quvvat ifodasi hosilasining nolga tengligi shartidan maksimal quvvat (P_m) va unga mos keluvchi tok kuchi (J_m) va kuchlanishlar (U_m) aniqlanadi. So'ngra esa bu kattaliklar orqali foydali ish koeffitsiyenti (η) va to'ldirish koeffitsiyenti (ff) aniqlanadi.

Asosiy natijalar

Yuqorida keltirilgan ifodalar asosida va “Eng kichik kvadratlar usuli” yordamida real quyosh elementlarining asosiy parametrlarni hisoblash uchun Visual Basicda dastur tuzildi. Dastur (3) transsendent tenglama va (4), (5) ifodalar yordamida ketma-ket qarshilik (R_s), parallel qarshilik (R_p), to'yinish toklarini (J_0), aniqlash, so'ngra volt-amper xarakteristika bo'yicha tajribada

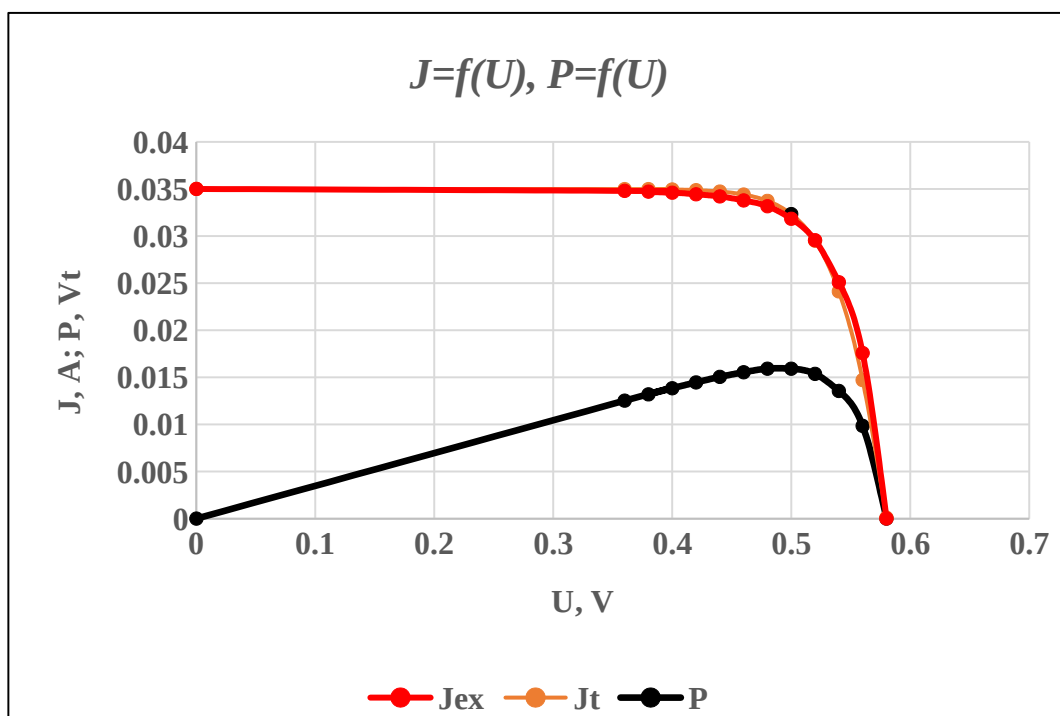
olingan natijalarni “Eng kichik kvadratlar usuli” yordamida qayta ishlash orqali ideallik koefitsiyentini (A) aniqlash, keyinchalik maksimal quvvat (P_m) va foydali ish koefitsiyenti (η) kabi asosiy parametrlarni tez aniqlash va natijalarni MS Excelga jo’natib, tasvirlashga imkon beradi. Dasturda shuningdek, volt-amper xarakteristika bo’yicha tajribada olingan natijalarni ekrandagi maxsus oynachalar yoki MS Excel orqali qabul qilish imkoniyati yaratilgan. Hisoblash aniqligi o’rtacha kvadratik hatolikning qiymati (χ^2) orqali nazorat qilib boriladi. Dastlabki hisoblash natijalari 1-jadvalda va 2-rasmda keltirilgan.

1-jadval.

Kremniyli quyosh elementining asosiy parametrlari

χ^2	$9.52 \cdot 10^{-4}$	J_m, A	0.0331
J_0, A	0.841	U_m, V	0.48
A	1.012	P_m, Vt	0.0159
R_s, Om	0.389	ff	0.784
R_p, MOm	2374	η	15.92%
J_{SC}, A	0.035	U_{OC}, V	0.58

2-rasmda keltirilgan natijalardan korinib turibdiki, hisoblangan parametrlar eksperimental natijalarga juda yaqin. Buni o’rtacha kvadratik hatolikning (χ^2) qiymatidan ham ko’rish mumkin.



2-rasm. YX-115×85,5 MM tipli mono kremniy asosli quyosh elementining volt-amper va volt-vatt xarakteristikalari ($T=300\text{ K}$). Nuqtalar- eksperiment natijalari, uzluksiz chiziqlar hisoblash natijalari.

Xulosa

Shunday qilib, ushbu ishda bitta trassendent tenglamani yechish va volt-amper xarakteristika bo'yicha tajribada olingan natijalarni "Eng kichik kvadratlar usuli" yordamida qayta ishlash orqali real quyosh elementlarining asosiy parametrlarini aniqlash usuli taklif etildi. Taklif etilgan usulning afzalligi - bitta volt-amper xarakteristikasidan foydalanish va quyosh elementining parametrlarini hisoblash aniqligining nazorat qilib borilishidadir. Hisob-kitob natijalarining tajriba natijalariga juda yaqinligi usulning samaradorligini ko'rsatadi. Taklif etilgan usul va dastur quyosh elementlarining xususiyatlarini kuzatish tizimini yaratish va ularning parametrlarini aniqlash usullarini takomillashtirishga yordam beradi.

Adabiyotlar

1. Гременок В. Ф. и др. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. – Минск: Изд. Центр БГУ, 2007. – 222 с. – ISBN 985-476-443-5.
2. Алфёров Ж. И., Андреев В. М., Румянцев В. Д. Тенденции и перспективы развития солнечной фотоэнергетики. ФТП, 2004, Т.38, вып. 8. С. 937–948.
3. Sims R. E. H. Renewable energy: a response to climate change. Solar Energy. 2004. Vol. 76. P. 9-17.
4. Казанский А. Г. Фотоэлектрические свойства микрокристаллического кремния. Изв. вузов. Сер. материалы электронной техники. 2009. № 1. С. 12–21.
5. Афанасьев В. П., Теруков Е. И., Шерченков А. А. Тонкопленочные солнечные элементы на основе кремния. 2-е изд. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 168 с.
6. Sen Z. Solar energy in progress and future research trends. Progress in Energy & Combustion Science. 2004. Vol. 30. P. 367-415.
7. Гременок В. Ф. и др. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», № 1 (69), 2009, с 59-124
8. Колтун М. М. Оптика и метрология солнечных элементов. М., 1984. 280 с.
9. Fahrenbruch A. L., Bube R. H., D'Aiello R.V. Fundamentals of Solar Cells (Photovoltaic Solar Energy Conversion). Journal of Solar Energy Engineering, 1984, 106(4), 497. doi:10.1115.1.3267632
10. Green M. A. Silicon solar cells to power the future. Journal & Proceedings of the Royal Society of New South Wales, vol. 155, part 2, 2022, pp. 168–181. ISSN 0035-9173/22/020168-14

11. Васильев А.М., Ландсман А.П. Полупроводниковые фотопреобразователи. М., 1971. 245 с.
12. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент: Пер. с англ.; Под ред. М.М. Колтуна. М., 1987. 280 с.
13. Гуртов В. А. Твердотельная электроника: Учеб. Пособие – 3-е изд., Москва. Техносфера. 2008 г. 512 с.
14. Элзеин И., Петренко Т.П. Прогнозирующая модель управления системой обеспечения максимальной выходной мощности фотоэлектрической станции. Системный анализ и прикладная информатика, №4, 2015, С.17-25.
15. Лидоренко Н.С., Евдокимов В.М., Стребков Д.С. Развитие фотоэлектрической энергетики. М. : Информэлектро, 1988. - 50 с.
16. Бордина Н.М., Зайцева А.К., Стрельцова В.Н. Моделирование вольт-амперных характеристик солнечных элементов и солнечных батарей– Москва: Информэлектро, 1986. – 63 с.:
17. Tivanov M. et al. Determination of solar cell parameters from its current–voltage and spectral characteristics. Solar energy materials and solar cells 87 (1-4), 457-465, 2005.
18. Насиров М.З. Метод наименьших квадратов на основе “Mobile Basic”. Universum: Технические науки, № 1(82), 2021, с. 11-14
19. Nasirov M., Yuldasheva N., Matboboeva S., Gulomov J. Semi-Empirical Plasmon Coefficients of Metals for Nanoplasmonics. Journal of Nano- and Electronic Physics, Vol. 14, No 4, 04024(3pp), 2022
20. Насиров М., Жонибекова С., Зиёитдинов Ж. Метод наименьших квадратов на основе “MS Excel” для обработки экспериментальных данных в физике полупроводников. Eurasian journal of mathematical theory and computer sciences, Vol. 2, N 11, p.65-71