تقرير معاملات الخلية الشمسية

معاملات نموذج الثنائي الواحد من منحنى التيار والجهد المقيس، مع التنبؤ الحراري

1 مقارنة العينات

العينة	Iph	I0	Rs	Rsh	n	RMSE
RTC-France-Monocrystal	0.76079	3.1068e-07	0.036547	52.89	1.4773	7.7301e-04
Photowatt-PWP201-Polyc	1.0314	2.6381e-06	1.2356	821.64	1.3222	2.0530e-03

2 العينة

RTC-France-Monocrystalline-Silicon-Cell.txt

المصدر	Easwarakhanthan et al. (1986), Int. J. Solar Energy 4, 1-12; 1000 W/m2
البيانات	N = 26, V = -0.2057 … 0.59 V
ظروف القياس	T = 33 °C, Ns = 1
هدف الملاءمة	جذر متوسط مربع خطأ التيار (المربعات الصغرى)

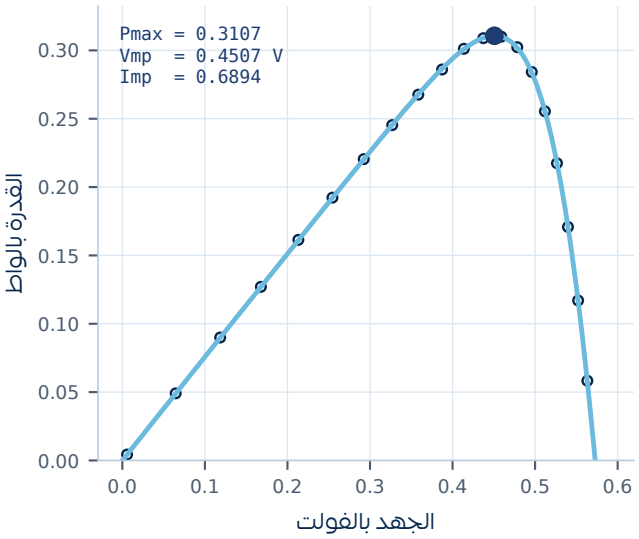
المعاملات المستخرجة

الكمية	القيمة ± الخطأ المعياري	الوحدة
تيار التوليد الضوئي	0.76079 ± 3.2e-04	A
تيار التشبع العكسي	3.1068e-07 ± 3.3e-08	A
مقاومة التوالي	0.036547 ± 4.9e-04	Ω
مقاومة التفرع	52.89 ± 4.0	Ω
معامل المثالية لكل خلية	1.4773 ± 0.011	
جهد الثنائي	0.038973 ± 2.8e-04	V

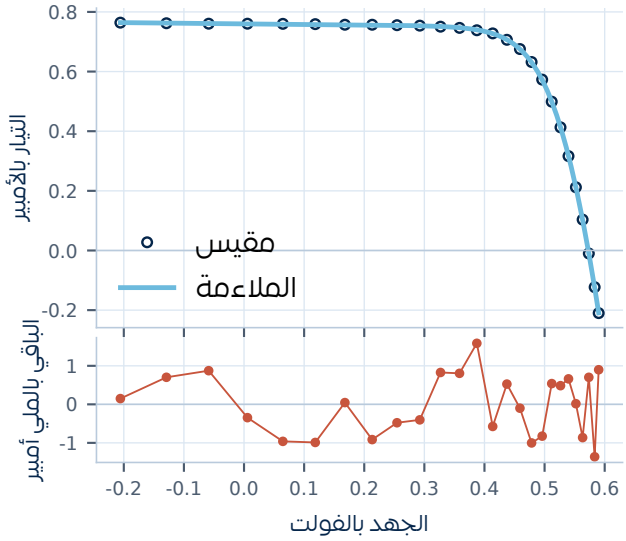
جودة الملاءمة

RMSE = 7.7301e-04 A = 0.102 % Isc RMSRE = 4.717e-03 max|ΔI| = 1.585e-03 A

القدرة



منحنى التيار والجهد والملاءمة

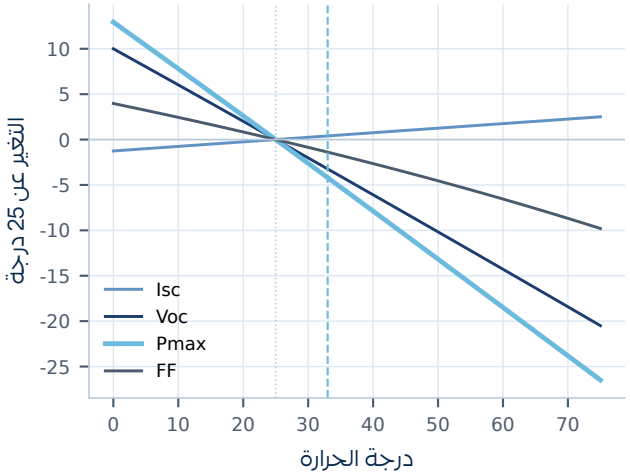


مؤشرات الأداء عند درجة حرارة القياس

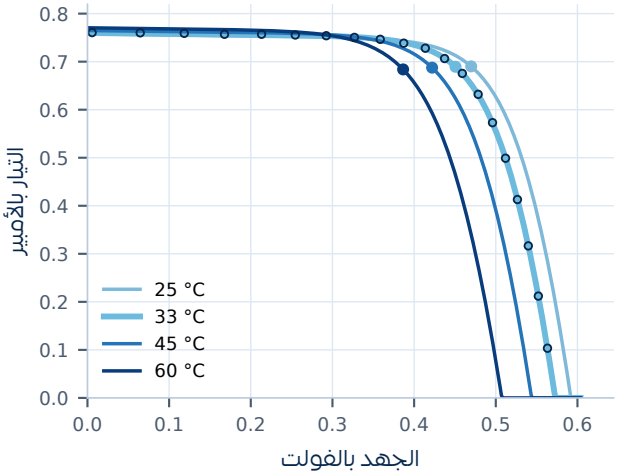
الكمية	مقيس	من الملاءمة	الوحدة
تيار الدائرة القصيرة	0.7605	0.76026	A
جهد الدائرة المفتوحة	0.57269	0.57278	V
القدرة العظمى	0.31005	0.31069	W
جهد القدرة العظمى	0.459	0.45069	V
تيار القدرة العظمى	0.6755	0.68938	A
معامل الملء	0.7119	0.71348	

3 التنبؤ الحراري

التغير مع درجة الحرارة



المنحنيات المتنبأ بها



T	Isc	Voc (V)	Pmax	Vmp (V)	FF
25 °C	0.75722	0.59194	0.3243	0.46987	0.7235
33 °C	0.76026	0.57278	0.31069	0.45069	0.7135
45 °C	0.76482	0.54385	0.29016	0.42205	0.6976
60 °C	0.77052	0.50739	0.26433	0.38653	0.6761

معاملات الحرارة عند 25 درجة مئوية

الكمية	لكل كلفن	نسبة مئوية لكل كلفن
تيار الدائرة القصيرة	+3.8012e-04 A/K	+0.0502 %/K
جهد الدائرة المفتوحة	-2.3885e-03 V/K	-0.4035 %/K
القدرة العظمى	-1.6955e-03 W/K	-0.5228 %/K
معامل الملء	-1.2265e-03 1/K	-0.1695 %/K

الافتراضات

يُحسب تيار التشبع عند كل درجة من فجوة الطاقة بمعادلة فارشني ومن معامل المثالية، ويتغير تيار التوليد الضوئي والمقاومتان خطياً بالمعاملات التالية. القيم الافتراضية معتادة للسيليكون، وتُغيَّر من واجهة الأداة.

`I0(T) = I0·(T/Tm)^3·exp[q/(n·k)·(Eg(Tm)/Tm − Eg(T)/T)],  material = Si`
`αIph = +0.05 %/K  αRs = +0 %/K  αRsh = +0 %/K`

4 المقارنة بالقيم المنشورة

Bouali & Alamri (2024), Mathematics 13(1), 19, doi:10.3390/math13010019 - SDM, Obj2

المعامل	المنشور	قيمة الأداة	الفرق	الحكم
Iph	0.76079 A	0.76079 ± 3.2e-04 A	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
IO	3.1069e-07 A	3.1068e-07 ± 3.3e-08 A	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
Rs	0.036547 Ω	0.036547 ± 4.9e-04 Ω	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
Rsh	52.89 Ω	52.89 ± 4.0 Ω	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
n	1.4773	1.4773 ± 0.011	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
RMSE	7.7299e-04 A	7.7301e-04 A	0.00 %	متفق

الإصدار السابق من هذه الأداة، بهدف الخطأ النسبي

المعامل	المنشور	قيمة الأداة	الفرق	الحكم
Iph	0.76085 A	0.76079 ± 3.2e-04 A	-0.01 %	متفق ضمن الخطأ
IO	2.6244e-07 A	3.1068e-07 ± 3.3e-08 A	+18.38 %	متفق ضمن الخطأ
Rs	0.037146 Ω	0.036547 ± 4.9e-04 Ω	-1.61 %	متفق ضمن الخطأ
Rsh	49.27 Ω	52.89 ± 4.0 Ω	+7.35 %	متفق ضمن الخطأ
n	1.4605	1.4773 ± 0.011	+1.15 %	متفق ضمن الخطأ
RMSE	8.3271e-04 A	7.7301e-04 A	-7.17 %	مختلف

5 خطوات المعالجة

- عدد النقاط المقروءة ومدى الجهد:
  `N = 26,  V = -0.2057 … 0.59 V`
- قُرئت علامة «?» أمام الأرقام على أنها إشارة سالب (فُقدت عند تغيير الترميز).
- تيار الدائرة القصيرة المقيس هو التيار عند جهد صفر، وجهد الدائرة المفتوحة هو الجهد عند تيار صفر، وكلاهما باستيفاء خطي بين النقطتين المجاورتين.
- النموذج: ثنائي واحد محلول صراحةً بدالة لامبرت، ومعامل المثالية لكل خلية، وجهد الثنائي يساوي معامل المثالية في عدد الخلايا في الجهد الحراري.
  `Ns = 1,  T = 33 °C,  n·Ns·Vt = 0.038973 V`
- بحث شامل بالتطور التفاضلي ثم تنقيح بالمربعات الصغرى داخل الحدود، والهدف جذر متوسط مربع خطأ التيار.
  `objective = rmse`
- أقوى ارتباط بين معاملين مستخرجين (متوقع بين تيار التشبع ومعامل المثالية):
  `corr(I0, n) = +0.9999`
- التنبؤ الحراري: تيار التشبع من فجوة الطاقة (معادلة فارشني) ومعامل المثالية، ويتغير تيار التوليد والمقاومتان خطياً بالمعاملات المبينة لكل كلفن. هذه افتراضات النموذج وليست قياساً عند درجات أخرى.
  `material = Si,  αIph = +0.05 %/K,  αRs = +0 %/K,  αRsh = +0 %/K`

6 التنبيهات

لا توجد تنبيهات.

7 العينة

Photowatt-PWP201-Polycrystalline-Module 2.txt

المصدر	Easwarakhanthan et al. (1986), Int. J. Solar Energy 4, 1-12; 1000 W/m2
البيانات	N = 25, V = 0.1248 … 17.49 V
ظروف القياس	T = 45 °C, Ns = 36
هدف الملاءمة	جذر متوسط مربع خطأ التيار (المربعات الصغرى)

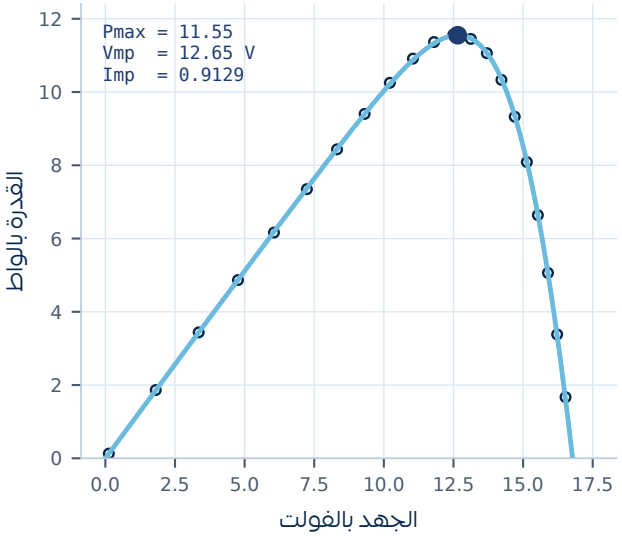
المعاملات المستخرجة

الكمية	القيمة ± الخطأ المعياري	الوحدة
تيار التوليد الضوئي	1.0314 ± 0.0019	A
تيار التشبع العكسي	2.6381e-06 ± 5.9e-07	A
مقاومة التوالي	1.2356 ± 0.027	Ω
مقاومة التفرع	821.64 ± 1.8e+02	Ω
معامل المثالية لكل خلية	1.3222 ± 0.023	
معامل المثالية للوح	47.598 ± 0.83	
جهد الثنائي	1.305 ± 0.023	V

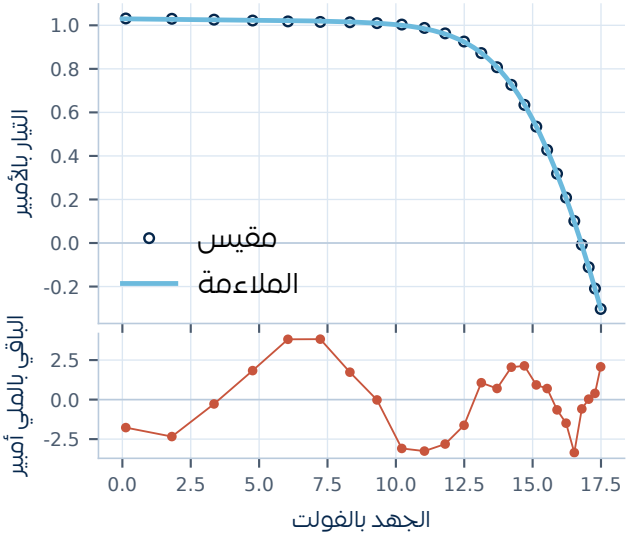
جودة الملاءمة

RMSE = 2.0530e-03 A = 0.199 % Isc RMSRE = 7.594e-03 max|ΔI| = 3.823e-03 A

القدرة



منحنى التيار والجهد والملاءمة

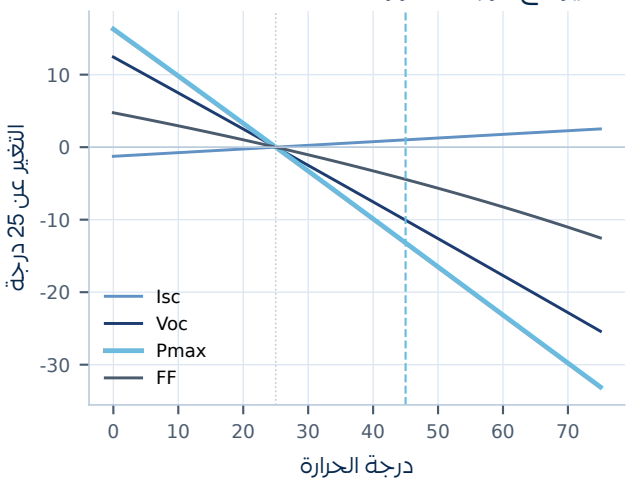


مؤشرات الأداء عند درجة حرارة القياس

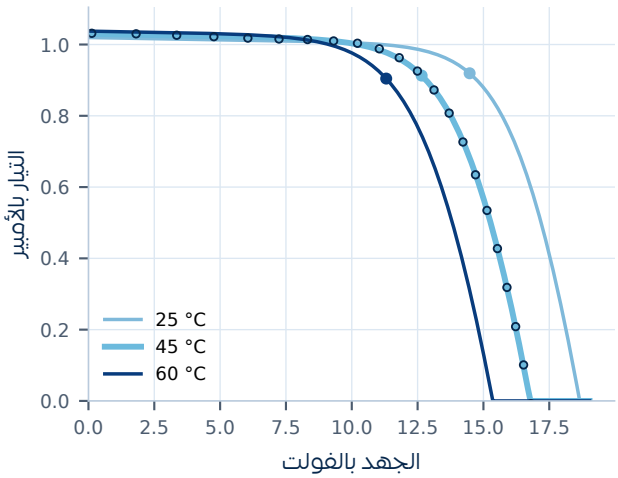
الكمية	مقيس	من الملاءمة	الوحدة
تيار الدائرة القصيرة	1.0316	1.0299	A
جهد الدائرة المفتوحة	16.779	16.777	V
القدرة العظمى	11.562	11.551	W
جهد القدرة العظمى	12.493	12.653	V
تيار القدرة العظمى	0.9255	0.91289	A
معامل الملء	0.66799	0.66851	

8 التنبؤ الحراري

التغير مع درجة الحرارة



المنحنيات المتنبأ بها



T	Isc	Voc (V)	Pmax	Vmp (V)	FF
25 °C	1.0196	18.656	13.308	14.476	0.6996
45 °C	1.0299	16.777	11.551	12.653	0.6685
60 °C	1.0376	15.354	10.227	11.307	0.6419

معاملات الحرارة عند 25 درجة مئوية

الكمية	لكل كلفن	نسبة مئوية لكل كلفن
تيار الدائرة القصيرة	+5.1489e-04 A/K	+0.0505 %/K
جهد الدائرة المفتوحة	-9.3448e-02 V/K	-0.5009 %/K
القدرة العظمى	-8.7432e-02 W/K	-0.6570 %/K
معامل الملء	-1.4454e-03 1/K	-0.2066 %/K

الافتراضات

يُحسب تيار التشبع عند كل درجة من فجوة الطاقة بمعادلة فارشني ومن معامل المثالية، ويتغير تيار التوليد الضوئي والمقاومتان خطياً بالمعاملات التالية. القيم الافتراضية معتادة للسيليكون، وتُغيَّر من واجهة الأداة.

$$I0(T) = I0\cdot(T/Tm)^3\cdot\exp[q/(n\cdot k)\cdot(Eg(Tm)/Tm - Eg(T)/T)],\quad \text{material} = \text{Si}$$

$$\alpha Iph = +0.05\ \%/K \quad \alpha Rs = +0\ \%/K \quad \alpha Rsh = +0\ \%/K$$

9 المقارنة بالقيم المنشورة

Bouali & Alamri (2024), Mathematics 13(1), 19, doi:10.3390/math13010019 - SDM, Obj2

المعامل	المنشور	قيمة الأداة	الفرق	الحكم
Iph	1.0314 A	1.0314 ± 0.0019 A	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
IO	2.6381e-06 A	2.6381e-06 ± 5.9e-07 A	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
Rs	1.2356 Ω	1.2356 ± 0.027 Ω	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
Rsh	821.64 Ω	821.64 ± 1.8e+02 Ω	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
n	1.3222	1.3222 ± 0.023	0.00 %	متفق ضمن الخطأ
RMSE	0.0020528 A	0.002053 A	+0.01 %	متفق

تذكر الورقة مقاومتي التوالي والتفرع لكل خلية (ضُربتا هنا في 36)، ومعامل المثالية 49.464 للوح كله، وحُوّل إلى قيمة لكل خلية بجهد الثنائي نفسه.

الإصدار السابق من هذه الأداة، بهدف الخطأ النسبي

المعامل	المنشور	قيمة الأداة	الفرق	الحكم
Iph	1.0297 A	1.0314 ± 0.0019 A	+0.17 %	متفق ضمن الخطأ
IO	4.6199e-06 A	2.6381e-06 ± 5.9e-07 A	-42.90 %	مختلف
Rs	1.1622 Ω	1.2356 ± 0.027 Ω	+6.32 %	مختلف
Rsh	1191 Ω	821.64 ± 1.8e+02 Ω	-31.01 %	مختلف
n	1.3821	1.3222 ± 0.023	-4.34 %	قريب
RMSE	0.0024167 A	0.002053 A	-15.05 %	مختلف

10 خطوات المعالجة

- عدد النقاط المقروءة ومدى الجهد:
  `N = 25,  V = 0.1248 … 17.49 V`
- تيار الدائرة القصيرة المقيس هو التيار عند جهد صفر، وجهد الدائرة المفتوحة هو الجهد عند تيار صفر، وكلاهما باستيفاء خطي بين النقطتين المجاورتين.
- النموذج: ثنائي واحد محلول صراحةً بدالة لامبرت، ومعامل المثالية لكل خلية، وجهد الثنائي يساوي معامل المثالية في عدد الخلايا في الجهد الحراري.
  `Ns = 36,  T = 45 °C,  n·Ns·Vt = 1.305 V`
- بحث شامل بالتطور التفاضلي ثم تنقيح بالمربعات الصغرى داخل الحدود، والهدف جذر متوسط مربع خطأ التيار.
  `objective = rmse`
- البيانات لا تصل إلى جهد صفر، فتيار الدائرة القصيرة المقيس مستقرأ من أقرب نقطتين.
  `first point at 0.74 % of Voc`
- أقوى ارتباط بين معاملين مستخرجين (متوقع بين تيار التشبع ومعامل المثالية):
  `corr(n, I0) = +0.9999`
- التنبؤ الحراري: تيار التشبع من فجوة الطاقة (معادلة فارشني) ومعامل المثالية، ويتغير تيار التوليد والمقاومتان خطياً بالمعاملات المبينة لكل كلفن. هذه افتراضات النموذج وليست قياساً عند درجات أخرى.
  `material = Si,  αIph = +0.05 %/K,  αRs = +0 %/K,  αRsh = +0 %/K`

11 التنبيهات

لا توجد تنبيهات.

12 كيف تقرأ النتائج

Iph

التيار الذي يولّده الضوء، وهو قريب من تيار الدائرة القصيرة، والفرق الكبير بينهما يدل على مقاومة توالي كبيرة أو ملاءمة ضعيفة.

I0, n

يصفان الثنائي: معامل مثالية قريب من 1 يعني الانتشار، وقريب من 2 يعني إعادة الاتحاد. تيار التشبع ومعامل المثالية مرتبطان بقوة، فقارنهما معاً لا كلاً على حدة.

Rs, Rsh

مقاومة التوالي تخفض الميل قرب جهد الدائرة المفتوحة ومعامل الملء، ومقاومة التفرع تظهر في الميل قرب تيار الدائرة القصيرة. مقاومة تفرع كبيرة جداً بخطأ كبير تعني أن البيانات لا تُظهر تسرباً.

RMSE

جذر متوسط مربع الفرق بين التيار الملائم والمقيس. إذا كان أقل من نحو 0.2 في المئة من تيار الدائرة القصيرة فالنموذج يصف المنحنى جيداً، وانظر إلى رسم البواقي لترى إن كان فيها نمط.

درجة الحرارة

المنحنيات عند درجات الحرارة الأخرى ناتجة عن النموذج والافتراضات المذكورة، لا عن قياس. ينخفض جهد الدائرة المفتوحة والقدرة العظمى مع ارتفاع الحرارة، ويزيد تيار الدائرة القصيرة قليلاً .

الحكم: «متفق ضمن الخطأ» إذا لم يتجاوز الفرق ضعف الخطأ المعياري للأداة، وإلا فهو «متفق» حتى اثنين في المئة، و«قريب» حتى خمسة في المئة، و«مختلف» فوق ذلك.

أُعد هذا التقرير بأداة استخلاص معاملات الخلية الشمسية من معامل الفيزياء، والمزيد من الأدوات على phy-lab.com.