



**«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Факультет «Фундаментальные науки»
Кафедра ФН-4 «Физика»

О.Ю. Дементьева, С.Л. Тимченко

Характеристические кривые солнечных батарей

Методические указания к выполнению лабораторной работы

Под редакцией Б.Е. Винтайкина

К 69

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана

Москва, 2014

2. Перед и при выполнении измерений следует убедиться, что влияние окружения на тепловой баланс системы минимально, а также установлен «ноль» и точка «ноль» имеет минимальный дрейф или вообще отсутствует.

3. Для регулировки использовать ручку «Компенсация» и «0» на усилителе.

4. При отсутствии источника излучения, необходимо подождать не менее 60 с перед началом измерений, чтобы система (датчик) пришла в термодинамическое равновесие с сенсорной областью термоэлектрической батареи.

5. При многочисленной серии измерений необходимо регулярно повторять процедуру компенсации и установки «0».

Универсальный измерительный усилитель (УИУ)

Применение и описание устройства

*[В данной работе
не используется]*

Усилитель (УИУ) используется для усиления электрических сигналов, которые не могут быть измерены непосредственно, либо вследствие высокого сопротивления источника сигнала или низкой амплитуды самого сигнала.

Панель прибора представлена на рис. 10.

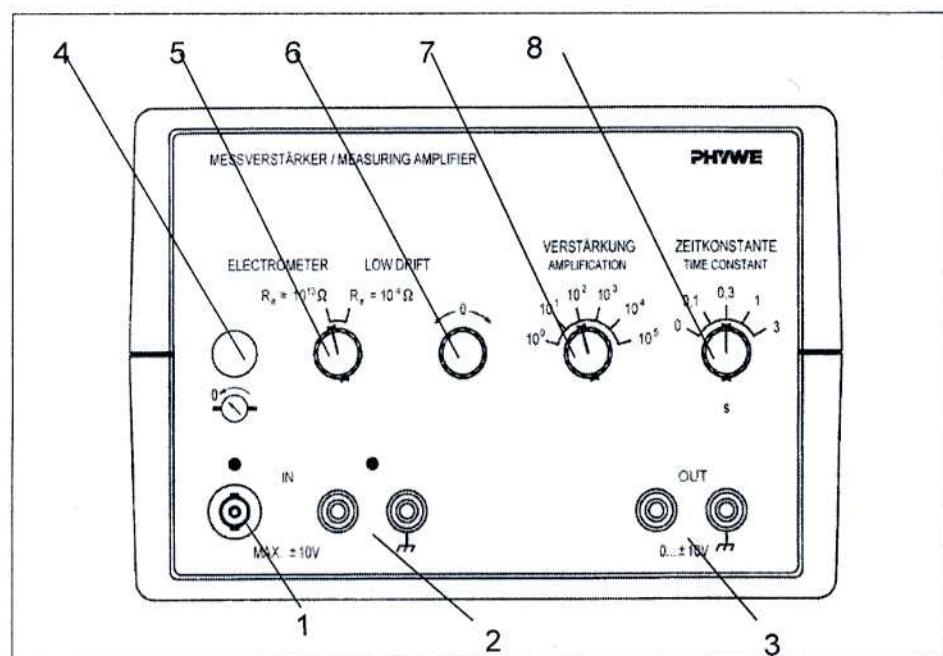


Рис. 10. Внешний вид панели универсального измерительного усилителя.

1 – BNC разъем. Предназначен для работы в режиме «Электрометр».

Когда переключатель 5 установлен в положение «Электрометр» загорается соответствующий светодиод.

2 – штыревые гнезда - 4 мм. Пара входных разъемов для режима работы «Low Drift».

Когда переключатель 5 установлен в положение «Low Drift» загорается соответствующий светодиод.

3 - Гнезда 4 мм. Пара выходных разъемов для подключения, указывающее вольтметр или записывающего устройства. Выходное сопротивление $R_a \leq 0,5$ кОм

4 - Клавиша сброса. Эффективно использовать только в режиме «Электрометр».

Диапазоны входных и выходных напряжения -10 В ... +10 В. Если выбран слишком

УИУ

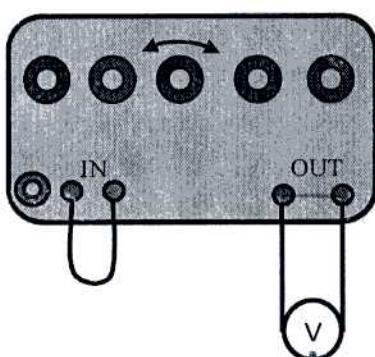


Рис. 12. Регулировка «ноля» на УИУ.

высокий коэффициент усиления, выходное напряжение поднимается примерно до 13 В. В этом случае выходной сигнал является насыщенным. Это не повредит устройство, но результаты измерений будут искажены. Как только увеличивается выходное напряжение выше 10 В, коэффициент усиления должен быть снижен на один шаг.

Выходное напряжение имеет тот же знак, что и входное напряжения.

Содержание экспериментальных заданий

Часть А

Задание 1. Снять зависимость потока излучения Φ от расстояния l между источником излучения и солнечной батареей. Вычислить интенсивность светового потока и поток излучения на СБ.

*Задание 1 выполнено по рукописному тексту
(см. на обратной)*

Для проведения измерений необходимо собрать установку, включающую источник света (1), термоэлектрическую батарею (2), усилитель (3) (рис. 13). На рис. 13 l - расстояние между источником и термоэлектрической батареей.

УИУ (3) соединен с мультиметром (4).

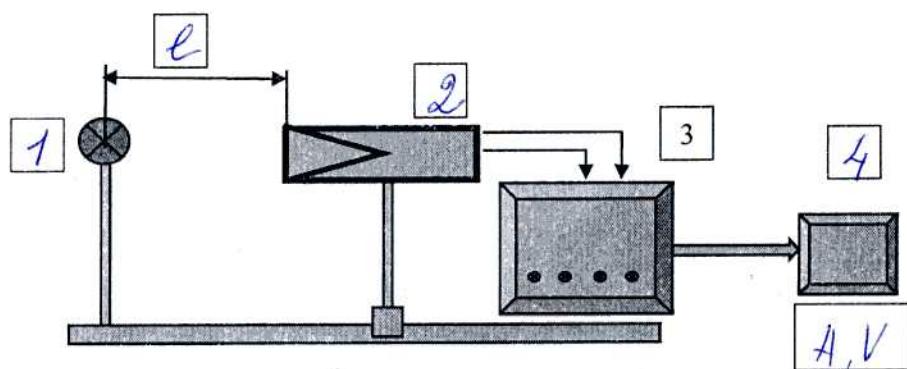


Рис. 13. Измерение интенсивности светового потока.

Внимание! При проведении измерения потока излучения светового источника следует снять защитное стекло с термоэлектрической батареи.

Входное отверстие задает положение термобатареи. Расстояние между лампой и термобатареей должно быть не менее 50 см, так как угловая апертура термобатареи составляет всего 20° .

В задаче 1 усилитель УЧУ не используется.
Для выполнения этого задания с обратной связью, включается стартер свечи, термоджекторы включаются патерно, используется АИ-1109. Регулировка имеет два канала измерений. В работе используется канал "CH1": шнурка "COM" и "U-2".

Для измерения напряжения уставки на рабочий повторяющейся переключатель из положения "OFF" (OFF-имитатор высокого) в положение "==MV" для измерения постоянных напряжений в режимах тида. Данное значение в табл. 1.

В прерываде (6) "КУ" не учитывается!

Минимальное расстояние до измерительного элемента термоэлектрической батареи составляет 50 см.

Количество экспериментальных точек в каждой серии – 10.

Измеряя напряжение на выходе термобатареи U_V и занося их в таблицу 1, получить зависимость светового потока Φ при различном расстоянии l между источником и солнечной батареей $\Phi(l)$.

Для расчета потока излучения (мощности излучения) использовать формулу:

$$\Phi = \frac{U_V}{K_y \delta}, \quad \frac{mB}{B} \cdot \text{Вт} \quad (6)$$

где K_y – коэффициент усиления напряжения (рекомендуется использовать $K_y = 10^2$), δ – коэффициент чувствительности термоэлектрической батареи, согласно паспорту составляет $\delta = 0,067 \text{ В/Вт}$.

Используя значения потока излучения от источника Φ , рассчитать его интенсивность:

$$J = \frac{\Phi}{S_T} \quad (7)$$

Здесь S_T – площадь измерительной поверхности термоэлектрической батареи, м^2 . Согласно паспортным данным, $S_T = 4,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Поток излучения, падающий на СБ, определяется с учетом площади поверхности СБ:

$$\Phi_{\text{СБ}} = J \cdot S_c \quad (8)$$

При расчете интенсивности излучения, приходящейся на СБ, следует учитывать площадь поверхности СБ, а при расчете фототока характер соединения солнечных элементов. Данная экспериментальная установка содержит четыре солнечных элемента, которые включены последовательно. Площадь одного солнечного элемента составляет $2,5 \times 5,0 \text{ см}^2$. Общая площадь солнечной батареи $S_c = 50 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Результаты расчета занести в таблицу 1.

Таблица 1.

$l, \text{ см}$	50	60	70	80	90
$U_V, \text{ мВ}$					
Поток излучения на ТЭ $\Phi, \text{ Вт}$					
Интенсивность излучения $J, \text{ Вт/м}^2$					
Поток излучения на СБ $\Phi_{\text{СБ}}, \text{ Вт}$					

По результатам, полученным в таблице 1, построить зависимости интенсивности излучения светового источника от расстояния до источника $J(l)$ и потока излучения $\Phi_{\text{СБ}}(l)$.

Задание 2. Измерение тока короткого замыкания и напряжения холостого хода солнечной батареи при различном расстоянии от источника света.

Для проведения этого задания использовать схему, представленную на рис. 14.

СБ установить на оптической скамье на расстояниях, указанных в таблице 2. Переводя реостат в крайние положения - сопротивление нагрузки равно нулю, измеряем ток короткого замыкания I_S , а когда сопротивление нагрузки максимально, измеряем напряжение холостого хода U_{xx} (рис. 14) при различной интенсивности светового потока. Полученные результаты занести в таблицу 2 и построить зависимости I_S и U_{xx} от расстояния l между солнечной батареей и источником излучения.



Таблица 2

l , см	50	60	70	80	90
I_S , мА					
U_{xx} , В					

С учетом характера соединения солнечных элементов максимальное напряжение холостого хода U_{xx} должно составлять примерно 2 В. Ток короткого замыкания пропорционален интенсивности света:

$$I_S = 1,84 \cdot 10^{-4} \cdot J \quad (9)$$

Построить экспериментальные зависимости $I_S(J)$ и $U_{xx}(J)$ или $I_S(\Phi_{СБ})$ и $U_{xx}(\Phi_{СБ})$.

Сравнить полученные экспериментальные результаты $I_S(J)$ с расчетными полученными по формуле (9).

Часть Б

Задание 3. Демонстрация теплового эффекта.

Установить солнечную батарею на расстоянии более 50 см (рекомендуется 60-70 см) от источника света. Использовать схему соединения элементов на рис. 14.

Измерить ток короткого замыкания I_S и напряжение холостого хода U_{xx} при трех различных температурах поверхности СБ. Температуру измерять непосредственно у поверхности СБ с помощью лабораторного термометра, не касаясь поверхности солнечного элемента.

Использовать следующие тепловые режимы:

- обдув холодным воздухом поверхности СБ;

- обдув горячим воздухом поверхности СБ в двух температурных режимах.

Указание: Количество измерений U_{xx} и I_S при каждой температуре - 3. На основании трех измерений определить среднее арифметическое указанных величин и результат занести в таблицу 3.

Таблица 3.

| = ... см

Физическая величина	$T_1 = \dots, K$	$T_2 = \dots, K$	$T_3 = \dots, K$
U_{xx}, V			
I_S, mA			

Для данной солнечной батареи результаты измерений показали, что тепловое влияние для напряжения холостого хода СБ составляет:

$$\frac{\Delta U}{\Delta T} = -8 \text{ мВ/К.}$$

Таким образом, тепловой эффект для U_{xx} в расчете на одну солнечную ячейку равен - 2 мВ/К.

Замечание: Влияние нагрева солнечной панели на ток короткого замыкания I_S очень мало и в данных экспериментальных условиях наблюдение эффекта является затруднительным. Оценить влияние нагрева поверхности СБ на напряжение холостого хода и ток короткого замыкания.

Задание 4. Измерение вольтамперных характеристик солнечной батареи и определение ее КПД.

Использовать схему, представленную на рис. 14.

- Измерить ВАХ солнечной батареи при различной мощности светового потока, а именно при трех положениях источника света относительно поверхности СБ: $| = 50 \text{ см}, 60 \text{ см}, 70 \text{ см}$. При измерении ВАХ рекомендуется использовать шаг не более 0,2 В. В области резкого уменьшения тока шаг изменения напряжения уменьшить до 0,1 В. *Напряжение измерять с помощью реостата.*
- Количество экспериментальных точек в каждой серии – не менее 10.
- При измерении ВАХ контролировать температуру поверхности СБ, используя термометр.
- Результаты занести в таблицу 4. По результатам построить зависимость ВАХ солнечной батареи.
- Вычислить мощность СБ:

$$P = I \cdot U \quad (10)$$

Рассчитать максимальную мощность P_m .

- Построить график зависимости мощности от напряжения на СБ, $P(U)$.
- Вычислить КПД солнечного элемента по формуле (5), используя результаты таблиц 1, 4.

Таблица 4.

$ = 50 \text{ см}, T = \dots K, I_S = \dots mA, U_{xx} = \dots V$									
I, mA									

U, V									
R, Ω									
P, mW									

$$P_m = \dots mW, \eta = \dots$$

$$I = 60 \text{ см}, T = \dots K, I_s = \dots mA, U_{xx} = \dots V$$

I, mA									
U, V									
R, Ω									
P, mW									

$$P_m = \dots mW, \eta = \dots$$

$$I = 70 \text{ см}, T = \dots K, I_s = \dots mA, U_{xx} = \dots V$$

I, mA									
U, V									
R, Ω									
P, mW									

$$P_m = \dots mW, \eta = \dots$$

- Используя результаты таблицы 4 и график $P(U)$, определить при каком сопротивлении СБ вырабатывает максимальную мощность.

Задание 5. Исследовать влияние температуры на ВАХ солнечной батареи. Не выполняйте!

Использовать схему, представленную на рис. 14.

Снять ВАХ в различных температурных режимах при заданной и фиксированной освещенности, задаваемой расстоянием в диапазоне 60 – 70 см между СБ и источником излучения:

- без охлаждения;
- с охлаждением;
- с обдувом горячим воздухом;
- со стеклянной пластинкой.

Охлаждение и дополнительный нагрев поверхности солнечной батареи осуществляется с помощью внешнего вентилятора.

Количество экспериментальных точек в каждой серии – 10.

Продемонстрировать уменьшение температуры нагрева солнечной батареи за счет использования стеклянной пластиинки. Для этого на пути светового потока от источника разместить стеклянные пластиинки и меняя толщину пластиинок, но, не меняя освещенность, снять ВАХ солнечной батареи. Результаты эксперимента занести в таблицу 5.

Построить ВАХ солнечной батареи.

По формуле (10) рассчитать мощность, найти максимальную мощность и КПД СБ (5). Результаты расчета занести в таблицу 5.

Построить график зависимости мощности от напряжения на СБ - $P(U)$ при различной температуре поверхности СБ и со стеклянной пластиинкой.

Используя данные исследования ВАХ СБ при различных температурах (табл. 5),

формуле:

$$\frac{\Delta\Phi_{СБ}}{\Phi_{СБ}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta U_V}{U_V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S_T}{S_T}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S_C}{S_C}\right)^2} \quad (13)$$

При расчетах принять $\frac{\Delta S_T}{S_T} \approx \frac{\Delta S_C}{S_C} = 5\%$.

Относительную погрешность КПД СБ рассчитать, как:

$$\frac{\Delta\eta}{\eta} = \sqrt{\left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\Phi_{СБ}}{\Phi_{СБ}}\right)^2} \quad (14)$$

Задание 6. Анализ эффективности использования солнечного света при работе солнечных батарей по сравнению с другими источниками излучения.

(Данное задание выполняется по усмотрению преподавателя.).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Уровень Ферми, энергия Ферми.
2. Структура энергетических зон в полупроводниках р- и н – типа.
3. Почему возникает контактная разность потенциалов? Как можно оценить и измерить данную величину?
4. Как устроен полупроводниковый солнечный элемент?
5. Какие токи протекают через освещенный р-н-переход?
6. Принцип работы солнечного элемента. Как возникает фото ЭДС? Какова природа сторонних сил в солнечном элементе?
7. Пояснить физическую природу внутреннего сопротивления солнечного элемента. Оценить внутреннее сопротивление СБ, используя результаты эксперимента.
8. Объяснить физическую природу зависимости выходной мощности солнечного элемента от температуры.
9. Почему нагрев солнечной батареи приводит к изменению напряжения холостого хода?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Савельев И.В. Курс общей физики. В 3-х т. Т. 3. - М.: Наука . 1987. - 320 с.
2. Епифанов Г.И., Мома Ю.А. Твердотельная электроника. - М.: Высшая школа, 1986. – 304 с.
3. Бушманов Б.Н. Хромов Ю.А. Физика твердого тела. - М.: Высшая школа, 1971. - 224 с.
4. Мартинсон Л.К., Смирнов Е.В. Квантовая физика. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 2009. – 532 с.
5. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006, 2007. – 360 с.