

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 96 с., 31 рис., 22 табл., 9 источников, 2 прил.

Ключевые слова: солнечная батарея, SoC система, электронная нагрузка, ВАХ характеристика.

Объектом исследования является солнечные батарей, подключенные к электронной нагрузке, обеспечивающий измерение вольтамперной характеристики.

Цель работы – Разработка малогабаритной системы испытания солнечных батарей на основе миникомпьютеров Beaglebone Black, разработка принципиальной схемы и печатной платы устройства.

В процессе разработки проводились: исследование методик измерения характеристики солнечного элемента; разработка принципиальной электрической схемы и разводка печатной платы устройства.

В результате исследования с помощью миникомпьютера Beaglebone Black, проведен измерение параметров солнечных батарей.

Степень внедрения: макет рабочего устройства.

Область применения: на производстве.

В будущем планируется: проведение испытаний и внедрение,  
дальнейшее усовершенствование прибора..

## Оглавление

<b>Введение.....</b>	<b>5</b>
<b>1. Теоретическая часть .....</b>	<b>10</b>
1.1. Принцип действия кремниевых солнечных батарей. ....	11
1.2. Вольт-амперная характеристика .....	16
1.3. Спектральные характеристики.....	16
<b>2. Методика измерения характеристики солнечных батарей...</b>	<b>19</b>
2.1. Имитатор освещения солнечного излучения.....	19
2.2. Параметры солнечных батарей .....	27
2.2.1. Ток короткого замыкания $I_{кз}$ . ....	27
2.2.2. Напряжение холостого хода $V_{хх}$ . ....	28
2.2.3. Коэффициент заполнения FF. ....	29
2.2.4. Коэффициент полезного действия.....	30
<b>3. Аппаратный измерительный комплекс.....</b>	<b>32</b>
3.1. Устройство и работа прибора.....	34
3.2. Электронная нагрузка. ....	37
3.3. Создание программы измерения вольтамперной характеристики солнечной батареи в среде Labview.....	38

<b>4. Система контроля параметров солнечных батарей на основе миникомпьютеров Beaglebone Black.....</b>	<b>40</b>
4.1 Описание BeagleBone Black .....	40
4.2. Схемы и принцип работы печатной платы .....	49
4.3. Принцип работы алгоритма.....	51
4.4. Измерение параметров солнечных батарей, регламентируемый ГОСТ 28977-91.....	54

**Приложение Б. Схема подключения**

## Введение

Энергетика является материальной основой выживания и экономического развития, но, как мировая экономика продолжает, развитие высокоскоростных, нехватка энергии, загрязнение окружающей среды, экологической деградации и другие проблемы постепенно углубляется, энергоснабжение и спрос становится более заметным. Настоящее основное мировое потребление энергии является ископаемым ресурсом, где несколько стран, например, Китай, на основе угля, большинство других стран основана на нефти и газ. Эксперт прогнозирует, по такому скоростью расходования ресурсов, нефть и газ могут поддерживать лишь менее полувека, уголь будет длиться только двенадцать лет. Поэтому независимо от того, какого рода традиционной энергетической структуры, энергетический кризис с ограниченными ресурсами, стоящих перед человечеством становятся все более серьезными.

В сегодняшний день нехватка энергии, загрязнение окружающей среды постепенно увеличивается, в такое ситуаций солнечная энергетика становятся более актуальной для преодоления кризиса ресурсов. Поэтому улучшение методов измерения параметров солнечных элементов является ключевом фактором при исследований и производстве солнечных элементов. С развитием интернета вещей, одним из перспективных направлений развития

измерительной техники является создание устройства измерения с помощью миникомпьютера.

Основные направления развития солнечных элементов представлены на рисунке 1, на котором приведено место проводимых исследований, а также их конструкций рисунке 2.

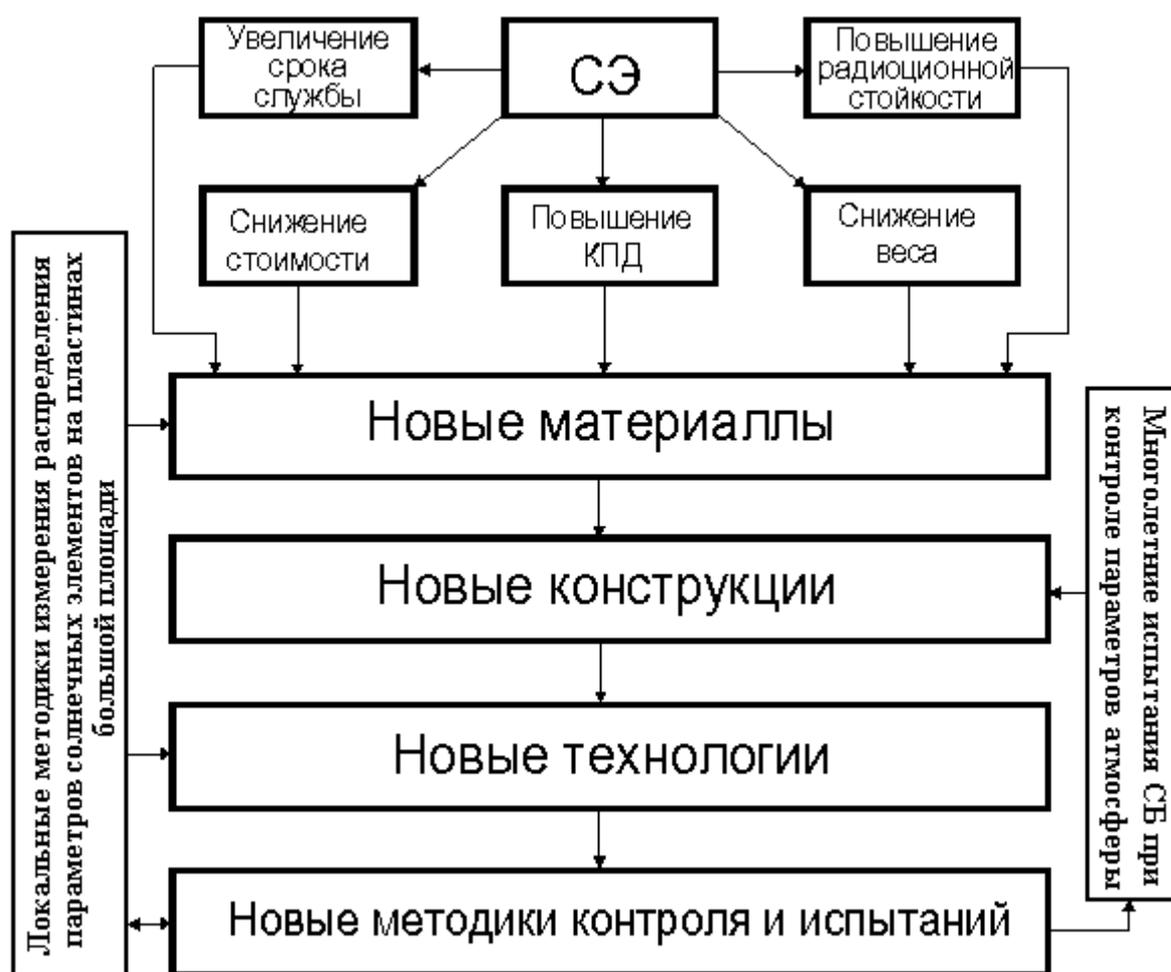


Рисунок 1. Основные пути развития солнечных элементов.



Рисунок 2. Конструкции солнечных элементов.

Как показывает практика, во время производства ФЭП наблюдается разброс характеристик ФЭП, таких как КПД, ток короткого замыкания, напряжение холостого хода. Этот разброс при одинаковых условиях изготовления может достигать от 5% до 10%.

Без исследования физики процессов в неоднородных ФЭП невозможно решение многих эксплуатационных и технологических задач, направленных на повышение эффективности ФЭП, функционирующих в условиях воздействия окружающей среды.

**Целью работы** является разработка малогабаритной системы испытания солнечных батарей на основе миникомпьютеров Beaglebone.

Основные задачи, решаемые в магистерской работе в связи с поставленными целями, являются следующими:

- Изучить влияние плотности энергии электронного пучка на амплитудные и спектрально-кинетические характеристики люминесценции InGaN/GaN - квантовых ям образцов различной предыстории.
- Изучить влияние дислокаций на интенсивность экситонной фото- и катодолюминесценции слоев GaN, выращенных методом металлоорганической газофазной эпитаксии на с-ориентированном сапфире.

#### **Задачи исследований:**

- изучить метод измерения параметров солнечных батарей и построить вольтамперную характеристику;
- изучить программирование на основе миникомпьютеров Beaglebone Black для измерения.

**Научная новизна.** Впервые изучено измерение параметров солнечных батарей на основе SoC систем.

#### **Практическая ценность и внедрение**

Практической ценностью исследования является основание для разработки малогабаритной системы испытания солнечных батарей, в котором будет реализована возможность измерения параметров солнечных батарей.

### **Апробация работы.**

Материалы работы докладывались и обсуждались на VII Научно-практической конференции «Информационно-измерительная техника и технологии» и VI Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность», 23 мая-27 мая 2016г.

1. Янь Юйхао. Измерение параметров солнечных элементов с применением миникомпьютера Beaglebone Black; науч. рук. А. В. Юрченко // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы VI научно-практической конференции, Томск, 27-30 мая 2015 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2015. — [С. 184-186].

2. Янь Юйхао. Система контроля параметров солнечных батарей на основе SoC систем/ VII Научно-практическая конференция «Информационно-измерительная техника и технологии» с международным участием

## 1. Теоретическая часть

Объектами исследования являются солнечные батареи, подключенные к электронной нагрузке, обеспечивающий измерение вольтамперной характеристики.

Солнечная батарея – несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей— устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток.

Отличить по технической зрелости продукции, солнечный элемент можно разделить на:

1.солнечный элемент первого поколения: кристаллический кремниевый солнечный элемент;

2.солнечный элемент второго поколения: различные тонкопленочные солнечные элементы;

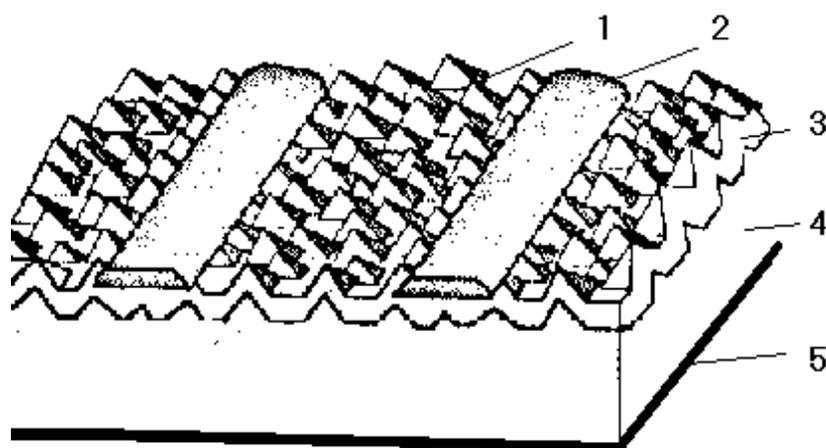
3.солнечный элемент третьего поколения: различные солнечные элементы, например, фотоэлектрические элементы (TPV), солнечный элемент ударной ионизации.

Среди них, первое поколение солнечных элементов вступил в стадию крупной промышленности, исследование параметров фотоэлектрических модулей над кремниевой солнечной батареи,

посвящено созданию станции мониторинга работы солнечных батарей на основе SoC систем.

### 1.1. Принцип действия кремниевых солнечных батарей.

Солнечные батареи представляют собой последовательно и параллельно соединенные солнечные элементы, помещенные в защитный каркас. Солнечные элементы представляют собой p-n переход, который получен путем диффузии и представляет собой структуру (Рисунок 3.).



**Рисунок 3. Конструкция промышленно изготавливаемых СЭ.**

1 – текстурированная поверхность с просветляющим покрытием  $\text{SiO}_2$ ,

2 - лицевой омический контакт, 3 –  $\text{n}^+\text{-Si}$ , 4 - подложка  $\text{p-Si}$ ,

## 5 - тыловой омический контакт.

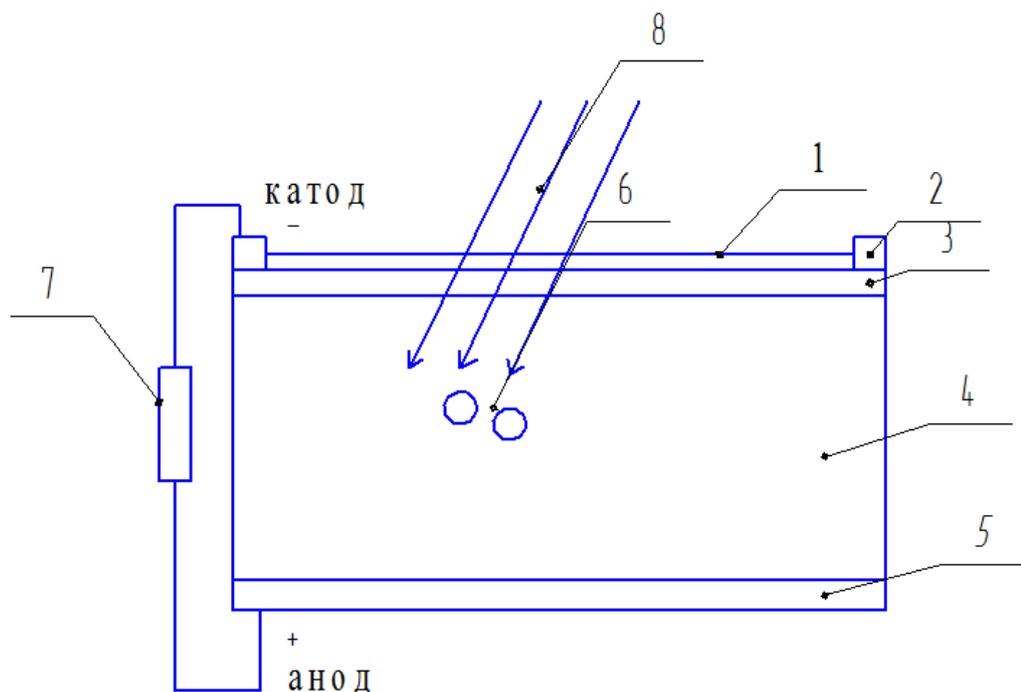
Принцип действия солнечных элементов: Оптическое излучение, падающее на поверхность такой структуры создает в объеме полупроводника электронно-дырочные пары, причем скорость генерации пар убывает по экспоненциальному закону от поверхности в глубь полупроводника. Когда на СЭ падает солнечный свет, фотоны с энергией меньшей ширины запрещенной зоны  $E_g$  не дают вклада в выходную мощность прибора (в пренебрежении примесным поглощением света). Каждый фотон с энергией большей  $E_g$ , дает вклад пропорциональный  $E_g$  в выходную мощность СЭ, а остальная часть энергии фотона ( $E$ ) рассеивается в виде тепла. (Рисунок 4.)

Остальная часть энергии фотона:

$$E_0 = h\nu - E_g$$

(1)

где:  $h$ -постоянная Планка,  $\nu$ -частота падающего света.



**Рисунок 4. Принципиальная схема СЭ.**

1 – текстурированная поверхность с просветляющим покрытием  $\text{SiO}_2$ ,

2 - лицевой омический контакт, 3 –  $n^+$ -Si, 4 - подложка p-Si,

5 - тыловой омический контакт, 6 –электронно-дырочные пары,

7-нагрузка,8-оптическое излучение.

Неосновные, сгенерированные оптическим излучением и подошедшие к p-n переходу, носители заряда будут разделяться полем перехода. Для основных носителей переход представляет собой потенциальный барьер. Если поглощение кванта света (фотона) произошло в n-области на расстоянии меньшем, чем диффузионная

длина носителей заряда от р-п перехода, то неосновные носители заряда могут дойти до перехода и разделится полем перехода.

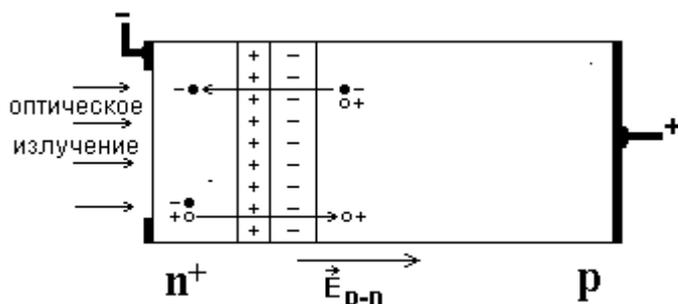
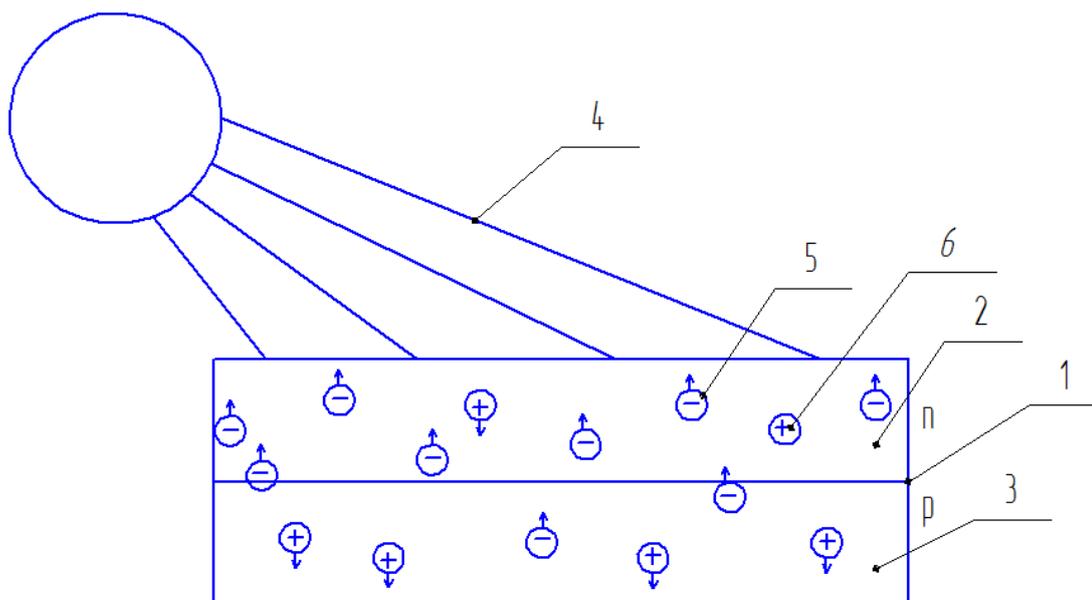


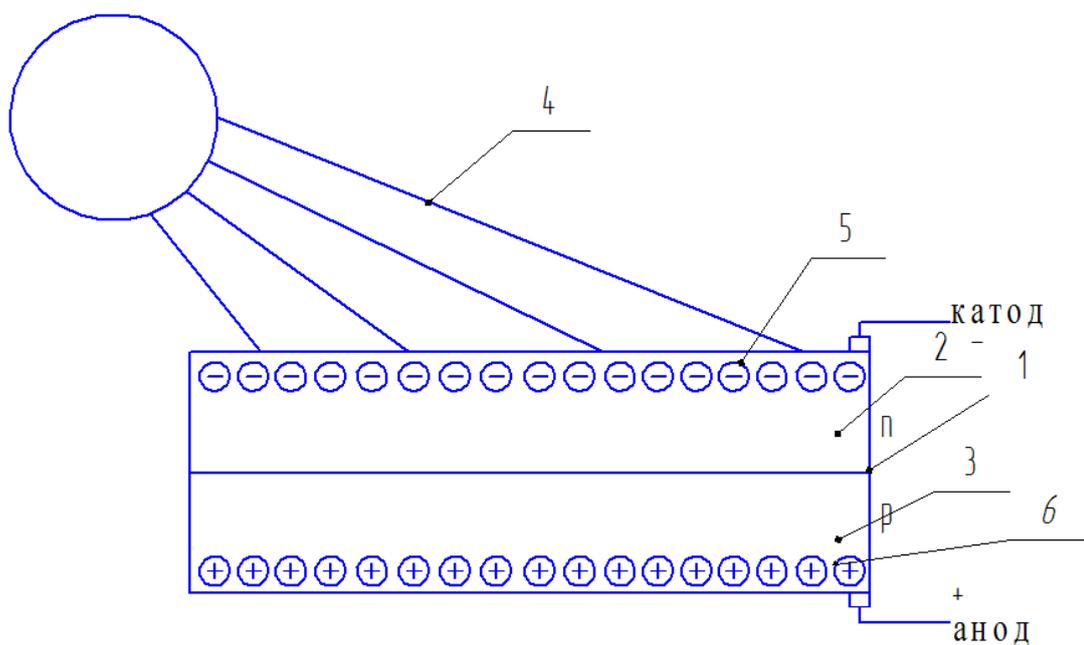
Рисунок 5 Физическая модель.

Аналогично, если фотон поглотился в р-области, то неосновные носители заряда, находящиеся на расстоянии диффузионной длины от р-п перехода, переносятся в n-область. Если поглощение произошло в области пространственного заряда, то электроны и дырки уходят из нее в n и p области соответственно (Рисунок 5.). Таким образом, потенциальный барьер играет роль разделителя носителей заряда. Процесс разделения носителей заряда приводит к накоплению основных носителей заряда в n и p областях. Избыточные дырки заряжают р-область положительно, а избыточные электроны заряжают n-область отрицательно. Между n и p областями возникает фотоэлектродвижущую силу с полярностью противоположной барьерному полю р-п перехода. (Рисунок 3.)



**Рисунок 6. Направление движения электронов и дырок.**

1 –р-п переход, 2 – п область, 3 –р область, 4 -солнечное излучение,  
5 - электрон, 6 –дырка.



**Рисунок 7. Появление фотоЭДС.**

1 –р-п переход, 2 – п область, 3 –р область, 4 -солнечное излучение,

5- электрон, 6 –дырка.

## 1.2. Вольт-амперная характеристика

При освещении р-п перехода через него помимо темнового тока будет протекать ток, обусловленный генерацией носителей заряда оптическим излучением  $I_{кз}$ .

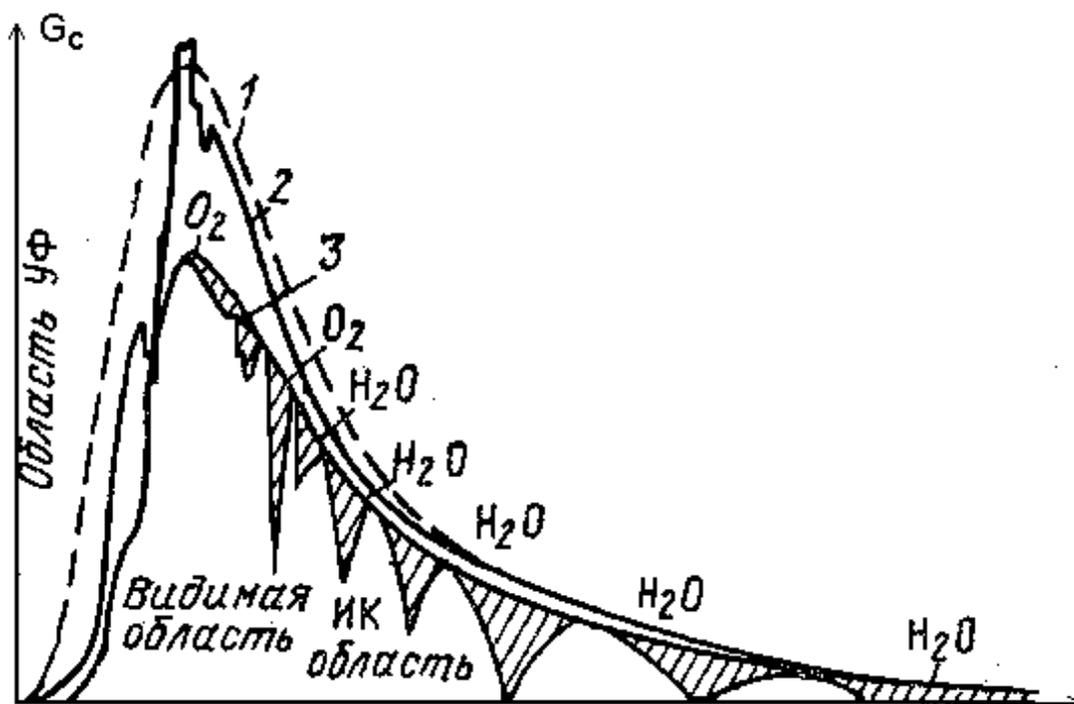
Таким образом, можно записать ВАХ СБ, как сумму токов (для идеального случая):

$$I = I_S \cdot (e^{\frac{qV}{kT}} - 1) - I_{кз} \quad (2)$$

Графически зависимость тока от напряжения для СБ имеет вид: (рисунок10).

## 1.3. Спектральные характеристики

Спектр солнечного излучения имеет довольно сложный вид, обусловленный поглощением света атмосферой Земли. Для качественных оценок примем, что солнце излучает, как абсолютно черное тело, с температурой 5800К.



**Рисунок 8. 1-аппроксимация излучением абсолютно черного тела с температурой 5800 К; 2 – заатмосферная спектральная интенсивность солнечного излучения; 3 – спектральная интенсивность на уровне Земли с полосами поглощения паров воды и кислорода.**

Спектральная интенсивность излучения абсолютно черного тела ( $G_0$ ) выражается формулой Планка, определяющей спектральную плотность излучения с  $1 \text{ см}^2$  его поверхности:

$$G_o(\lambda, T) = \frac{8\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\exp\left[\frac{hc}{\lambda kT}\right] - 1} \quad (3)$$

По мере удаления от Солнца интенсивность убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, и поэтому на Земле она определяется формулой:

$$G_c(\lambda, T) = K_c \cdot G_o(\lambda, T_c) \quad (4)$$

где  $T_c = 5800\text{K}$  температура Солнца,

$K_c = 2.17 \cdot 10^{-5}$  - квадрат отношения радиуса солнца к расстоянию от Солнца до Земли.

График функции  $G_c(\lambda)$  нанесен на рисунке пунктиром и видно, что формула Планка достаточно точно описывает излучение Солнца.

Однако, если для заатмосферной интенсивности излучения спектр хорошо описывается формулой Планка, то с солнечной радиацией, доходящей до Земли, дело обстоит сложнее, поскольку солнечный свет, проходя через атмосферу Земли, ослабляется парами воды, озоном,  $\text{CO}_2$ , а также рассеивается на частицах пыли и аэрозолях [26]. В итоге, спектр, доходящий до

поверхности Земли, сильно изрезан. Поэтому важны многофакторные и многолетние мониторинговые натурные испытания СБ.

Для получения качественных зависимостей тока короткого замыкания в последующих расчетах воспользуемся формулой Планка. Для подсчета точных значений необходимо пользоваться табличными данными, в которых учитываются атмосферные факторы, влияющие на солнечное излучение.

## **2. Методика измерения характеристики солнечных батарей**

### **2.1. Имитатор освещения солнечного излучения**

Для проведения измерений параметров солнечных элементов используются тестеры при стандартные условия измерения, тестеры отличаются по типу ламп, что влияет на спектральный состав излучения. (солнце, галогенные лампы, импульсные ксеноновые лампы), но у каждого метода есть свои достоинства и недостатки, из-за этого, результаты существуют разницы по разными методами. Сравнение имитаторов солнечного излучения показано на таблице 1.

Изобретение области измерений электрофизических параметров солнечных элементов на основе применения устройств, позволяющих имитировать (симулировать) реальное солнечное излучение искусственными источниками света вместе с необходимой и

встроенной в устройство электронной аппаратурой для обеспечения процесса измерений и определения параметров солнечных элементов с целью оценки их эксплуатационных характеристик. Способ определения вольтамперных характеристик кремниевых солнечных элементов на симуляторе солнечного излучения включает в себя облучение измеряемого и эталонного солнечных элементов импульсом света от одиночного импульсного источника светового излучения, определение по характеристикам эталонного солнечного элемента калибровочных параметров измерительной системы симулятора, подачу на контролируемый солнечный элемент в течение длительности плоской части импульса  $T=(1 \cdot 10^3 \div 1 \cdot 10^4)$  мкс регулируемого напряжения смещения  $U(t)$  с шагом  $\Delta t=(3 \div 30)$  мкс и измерение протекающего через него тока  $I(t)$ , а в качестве калибровочных параметров используют  $I_{к.з}$  - ток короткого замыкания, А;  $I_0$  - обратный ток, А;  $\tau$  - постоянная времени релаксации, мкс, напряжение смещения  $U(t)$  регулируют в соответствии с определенной зависимостью. Изобретение обеспечивает увеличение точности определения вольтамперных характеристик солнечных элементов в процессе проведения импульсных световых засветок. 1 пр.

Способ относится к области измерительной техники, более конкретно к области измерений электрофизических параметров

солнечных элементов на основе применения устройств, позволяющих имитировать (симулировать) реальное солнечное излучение искусственными источниками света вместе с необходимой и встроенной в устройство электронной аппаратурой для обеспечения процесса измерений и определения параметров солнечных элементов с целью оценки их эксплуатационных характеристик.

Для оценки эксплуатационных характеристик солнечного элемента (СЭ) используют такие параметры, как ток короткого замыкания ( $I_{к.з}$ ), напряжение холостого хода ( $U_{хх}$ ), ток и напряжение в максимуме выходной мощности ( $I_{max}$  и  $P_{max}$ ), последовательное и шунтирующие сопротивления СЭ, коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент заполнения нагрузочной кривой (FF).

Все указанные параметры определяются из вольтамперной характеристики (ВАХ) солнечного элемента, которая является интегрированным параметром, характеризующим качество СЭ.

Вольтамперную характеристику СЭ определяют при стандартных условиях освещения (АМ 1,5 G), а в качестве источника светового излучения обычно применяют симуляторы солнечного излучения на базе импульсных источников на основе ксеноновых ламп.

Применение импульсных источников светового излучения выгодно отличает импульсные способы измерения от стационарных.

В этом случае не происходит значительного нагрева СЭ под действием излучения, а также гораздо легче добиваться одинаковой интенсивности светового потока за малые промежутки времени проведения измерений.

Способ более экономичен с точки зрения потребления электрической энергии.

Известен способ определения вольтамперных характеристик кремниевых солнечных элементов на симуляторе солнечного излучения, включающий в себя подачу на контролируемый солнечный элемент постоянного напряжения смещения  $U(t)$ , измерение протекающего через контролируемый солнечный элемент тока  $I(t)$  при облучении его импульсным световым потоком, состоящим из нескольких световых источников с различным спектральным составом света, и построение по измеренным парам  $U(t)$  и  $I(t)$  вольтамперной характеристики контролируемого солнечного элемента .

В данном способе спектр солнечного излучения симулятора воспроизводится за счет комбинации световых потоков от нескольких одиночных импульсных источников, спектр которых формируется различными по спектральному составу одиночными импульсными источниками света, что обеспечивается, в основном, за счет

применения в коллимирующей системе симулятора специальных спектральных фильтров.

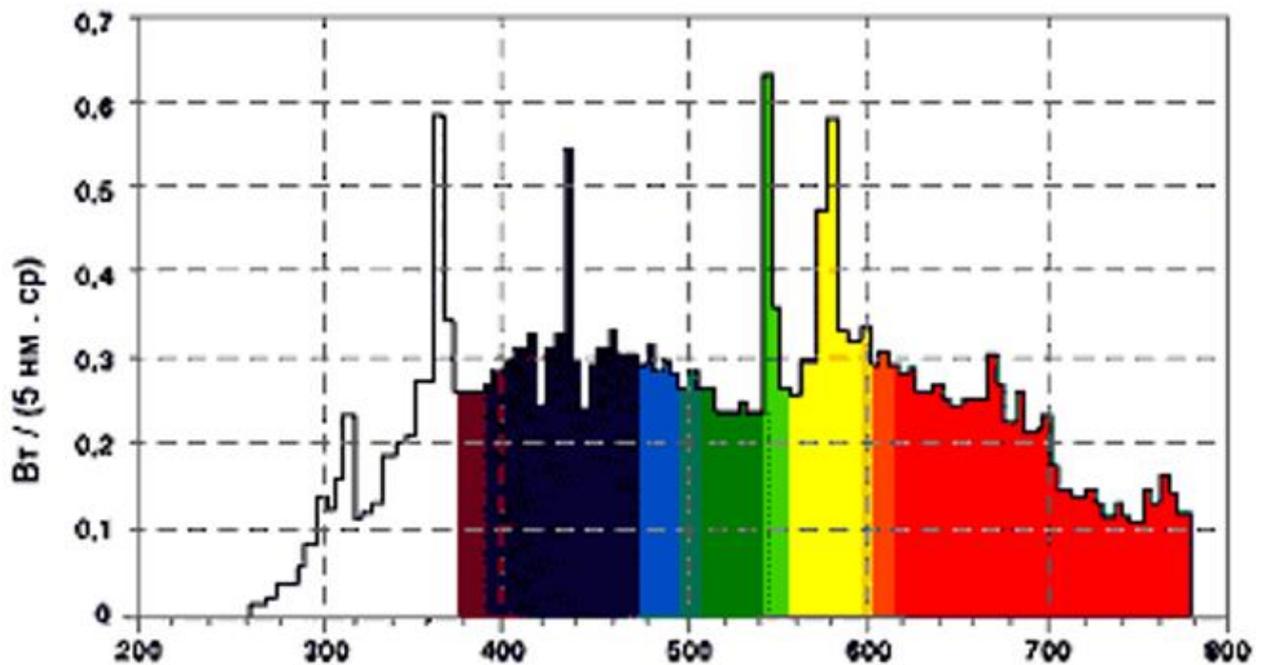
Все параметры ВАХ контролируемого солнечного элемента определяются за один световой импульс, а сама ВАХ формируется устройством вывода симулятора (персональным компьютером) в течение нескольких секунд.

Таблица 1. Сравнение имитаторов солнечного излучения для измерения параметров фотоэлектрических модулей.

	средств	Имитатор	достоинств	недостатки
	магазин		Наиболее близкий к реальной ситуации.	Место и время эксперимента ограничены.
	магазин	солнце,		Время измерения больше.
			Не происходит значительного нагрева СЭ под действием излучения, легче добиваться одинаковой интенсивности светового потока за малые промежутки времени проведения измерений. Спектр	Необходимость применения большого количества импульсных засветок при различных напряжениях смещения.
непер	Активный элемент +калибратор.	галогенные лампы	Простота реализация, непрерывный спектр используется 1 фильтра.	Спектр в инфракрасной части отличается от реального.

По принципу действия галогенные лампы очень похожи на обычные лампы накаливания, нить накаливания также

изготавливается из вольфрама. Однако в инертном газе, наполняющем колбу, содержатся добавки галогенов (отсюда и название "галогенные лампы"), таких как йод, хлор, бром, фтор или их химических соединений. Например, йод вступает в реакцию с вольфрамом, образуя летучее соединение - йодид вольфрама. Йодид вольфрама, попадая на накалившую спираль, разлагается на йод и вольфрам, а так как максимальная температура там, где нить накаливания тоньше всего, то в таком месте чаще происходит разложение йодида. Таким образом нить накаливания частично восстанавливается и срок службы лампы продлевается. Впрочем использование йода имеет и свои недостатки: йод вступает в реакцию не только с вольфрамом, но и с другими металлами, которые могут содержаться в колбе. Заменять йод другими чистыми галогенами - хлором, бромом или фтором - нецелесообразно, так как эти галогены еще более химически активны. Сейчас в галогеновых лампах все чаще используется бромистый метилен или бромистый метил. В рисунке (Рисунок 9.) показано спектр галогенной лампы.



**Рисунок 9. Спектр галогенной лампы.**

В экспериментах с использованием галогенной лампы. Методки и процесс показаны на пункте 2.4.

Недостатка является искажением видимого спектра - в галогенных лампах происходит небольшое поглощение светового излучения в желто-зеленой части спектра. Эти источники позволяют получить излучение в видимом диапазоне очень близкое к натуральному свету. Но спектр таких ламп имеет ряд линий, которые очень трудно отфильтровывать. И спектр в инфракрасной части отличается от реального.

## 2.2. Параметры солнечных батарей

Будь химическая батарея или солнечная батарея, обычно используются вольтамперную характеристику для выражения характеристики. (Рисунок 10.) Вольтамперная характеристика солнечных элементов может быть описана в четыре выходных параметров: напряжение холостого хода  $V_{xx}$ , ток короткого замыкания  $I_{кз}$ , коэффициент заполнения FF и коэффициент полезного действия.

### 2.2.1. Ток короткого замыкания $I_{кз}$ .

Если СЭ замкнут накоротко (сопротивление нагрузки равно нулю), то избыточные, разделенные p-n переходом, сгенерированные носители заряда будут иметь возможность циркулировать через эту короткозамкнутую цепь, создавая максимально возможное значение тока - ток короткого замыкания  $I_{кз}$ . В этом случае никакого скопления избыточного заряда у p-n перехода не возникает. Потенциальный барьер будет иметь ту же высоту, что и при отсутствии оптического излучения. ФотоЭДС будет равна нулю.

Вольтамперная характеристика СЭ при отсутствии освещения представляет собой ВАХ p-n перехода:

$$I = I_S \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

(5)

Где:  $I_S$  - ток насыщения, создаваемый свободными носителями, сгенерированными за счет теплового возбуждения;  $q$ - заряд электрона;  $k$ -постоянная Больцмана;  $T$ -абсолютная температура.

При освещении р-п перехода через него помимо темнового тока будет протекать ток, обусловленный генерацией носителей заряда оптическим излучением  $I_{кз}$ .

Таким образом, можно записать вольтамперная характеристика СЭ, как сумму токов (для идеального случая):

$$I = I_S \left( e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) - I_{кз}$$

(6)

### 2.2.2. Напряжение холостого хода $V_{хх}$ .

Если цепь СЭ разомкнута (сопротивление нагрузки равно бесконечности), то все, разделенные р-п переходом, носители заряда скапливаются у р-п перехода и компенсируют потенциальный барьер, создавая фотоЭДС равное напряжению холостого хода  $V_{хх}$ .

Выражение для напряжения холостого хода:

$$V_{xx} = \frac{kT}{q} \times \ln \left( \frac{I_{кз}}{I_S} + 1 \right)$$

(7)

### 2.2.3. Коэффициент заполнения FF.

Другим важным параметром является коэффициент заполнения FF, это отношение максимальной выходной мощности и произведения напряжения холостого хода  $V_{xx}$  и тока короткого замыкания  $I_{кз}$ .

Выходная мощность в любой точке вольтамперной характеристики равна площади прямоугольника, соответствующая эта точка. Среди всех точек, только существует одну точку, которую имеет максимальную выходную мощность  $P_m$ , напряжение и ток этой точки называют рабочего напряжения  $V_p$  и рабочего тока  $I_p$ . (Рисунок 5.)

5.) Коэффициент заполнения определяется как:

$$FF = \frac{V_p \times I_p}{V_{xx} \times I_{кз}} = \frac{P_m}{V_{xx} \times I_{кз}}$$

(8)

FF: Это мера выходных характеристик солнечного батарея, является крупнейшим представителем характеристик солнечной энергии в то время с лучшим нагрузкам, чем выше значение FF, тем больше мощность солнечных батарей. Значение FF всегда меньше

чем 1. В самом деле, из-за влияния последовательного сопротивления и шунта, фактическое значение коэффициента заполнения солнечных батарей ниже, чем идеальное значение по данного типа. Последовательные и параллельные резисторы имеют большее влияние на коэффициент заполнения. Чем больше последовательное сопротивление, ток короткого замыкания уменьшается, тем меньше коэффициент заполнения. Чем меньше параллельное сопротивление, ток этой части увеличится, напряжение холостого хода упадет, тем меньше коэффициент заполнения.

#### 2.2.4. Коэффициент полезного действия.

Важнейшей характеристикой СЭ является коэффициент полезного действия. Он определяется, как отношение максимальной мощности, отдаваемой в нагрузку СЭ к мощности солнечного излучения, падающего перпендикулярно рабочей поверхности.

$$\eta = \frac{V_p \times I_p}{P_c} \times 100\%$$

(9)

где:  $V_p$  и  $I_p$  - напряжение и ток в рабочей точке, при которых достигается максимальная мощность, отдаваемая в нагрузку (Рисунок 10.),  $P_c$  - мощность падающего на СЭ излучения.

$$P_c = W \times S$$

(10)

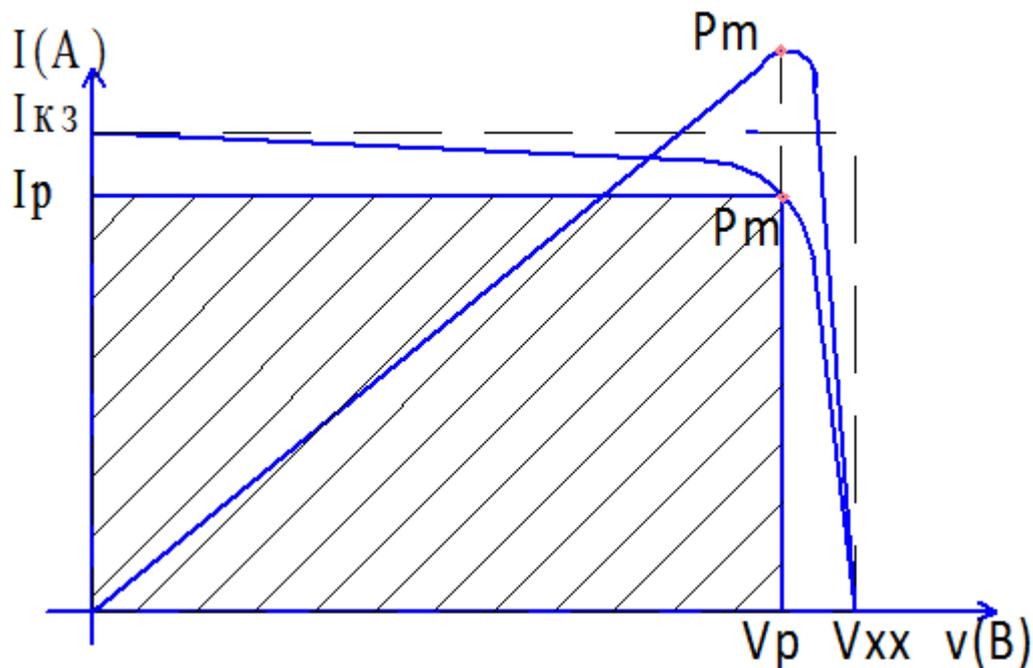
где: S-площадь батареи, W-Солнечная радиация.

Площадь батареи:

$$S=L*h$$

(11)

Где: L-ширина, h-высота.



**Рисунок 10. Вольтамперная характеристика СЭ и зависимость выделяемой мощности на нагрузке от напряжения.**

Создать вольтамперную характеристику данных, найти рабочую точку, получить рабочее напряжение, с этим зная рабочий ток, то можно рассчитать КПД.

### 3. Аппаратный измерительный комплекс

Была проведена бакалаврская работа, которая собирала станцию мониторинга работы солнечных батарей на основе платы сбора данных LA20USB

Целью эксперимента состоит в измерению параметров фотоэлектрических модулей по ВАХ СЭ. И имитатором является галогенная лампа.

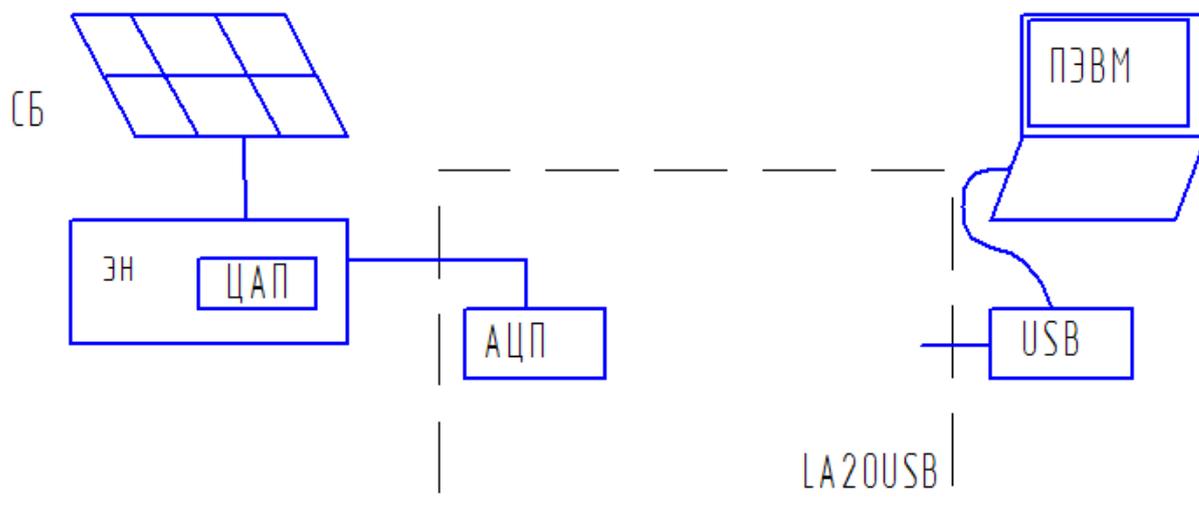
Для измерения параметров, нужно создать программу управления станцией на Labview позволяющей проводить автоматическое измерение вольтамперной характеристики солнечной батареи и рассчитывать ее основные характеристики.

Станция мониторинга работы солнечных батарей состоит из трех основных частей:

1. Кремниевая солнечная батарея.
2. Плата сбора данных LA20USB, обеспечивающая управление всеми элементами станции и сбор данных.

3. Электронная нагрузка, обеспечивающая измерение вольтамперной характеристики солнечной батареи посредством изменения своего сопротивления по команде с АЦП.

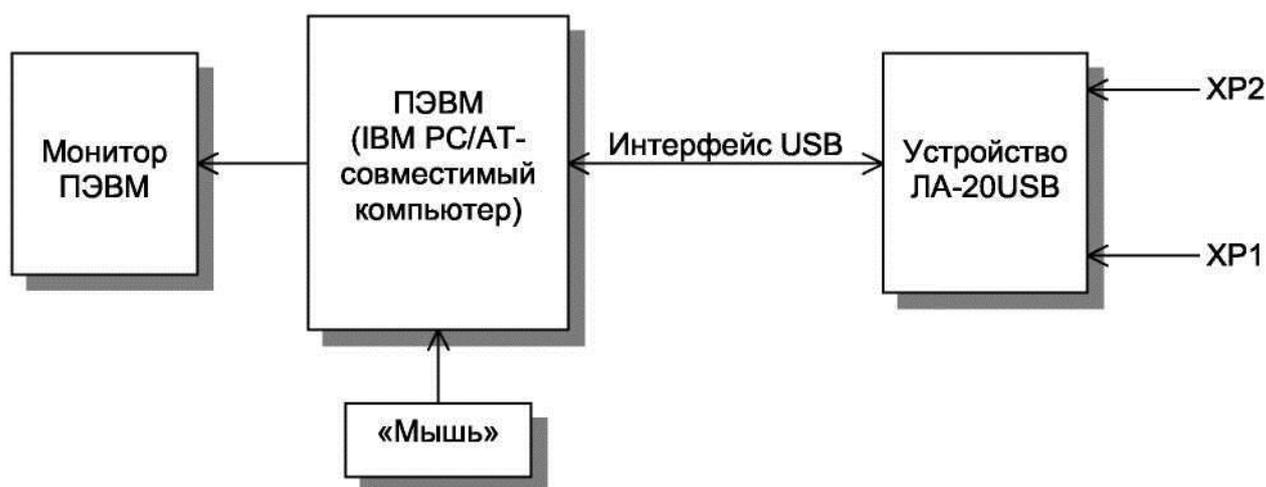
На рисунке (Рисунок 11.) представлена структурная схема станции мониторинга работы солнечной батареи. Основным элементом, которой является электронная нагрузка которая изменяет свое сопротивление в зависимости от подаваемого на нее напряжения с ЦАП. Это позволяет измерять посредством АЦП напряжение на изменяющейся нагрузке солнечной батареи.



**Рисунок 11. Блок схема мобильной станции**

### 3.1. Устройство и работа прибора

Структурная схема взаимодействия составных частей прибора показана на рисунке (Рисунок 12.).



**Рисунок 12. Структурная схема взаимодействия составных частей устройства**

Исследуемый аналоговый сигнал подается на входы каналов 0-31 устройства ЛА-20USB (более подробно о функциональной схеме ЛА-20USB см. в техническом описании на плату). Устройство ЛА-20USB осуществляет преобразование входного аналогового сигнала в цифровую форму, удобную последующей обработке ПЭВМ.

Обмен данными аналого-цифрового преобразования между ПЭВМ и устройством осуществляется через интерфейс USB ПЭВМ.

ПЭВМ при помощи специальной программы, входящей в комплект поставки (например, ADCLab) или программы, разработанной самим пользователем в среде Labview, осуществляет обработку поступающих от устройства данных аналого-цифрового преобразования и управление устройством через интерфейс USB.

Функциональная схема устройства ЛА-20USB показана на рисунке (Рисунок 13). Устройство содержит следующие независимые узлы: аналогово-цифровой канал, опорный кварцевый генератор, цифровой порт ввода/вывода, внутренний интерфейс управления и конфигурации, интерфейс USB 2.0 и вторичный источник питания.

Основное назначение АЦК - преобразование исследуемого аналогового сигнала в цифровую форму. АЦК состоит из входного мультиплексора, полного инструментального усилителя, программируемого усилителя, АЦП с УВХ. Режим работы АЦК (однополюсный или дифференциальный) задаётся программно. С помощью программируемого усилителя можно программно задать входной диапазон АЦП. При задании для работы одновременно нескольких каналов (группы каналов) - коэффициент усиления в каждом канале может быть задан отдельно на каждый канал.

Источник тактовой частоты АЦП может быть внешний TTL-совместимый сигнал, импульсная последовательность

отрицательной полярности; длительность импульсов не менее 100 нс (частота от 1 до 50 кГц), подаваемый на соответствующий контакт разъема ХР2 или ХР1. или внутренний - 1 МГц с 16 разрядным счетчиком-делителем ( $2^{16}-1=65535$ ), таким образом, минимальная задаваемая частота для платы может быть приблизительно 15,26 Гц. Внутренним источником тактовой частоты АЦП служит кварцевый генератор. Сетка задаваемых частот образуется так: максимальная частота 50 кГц, образуется как  $1 \text{ МГц}/20=50 \text{ кГц}$ , следующая частота  $1 \text{ МГц}/21$ , еще следующая  $1 \text{ МГц}/22$  и т.д. до  $1 \text{ МГц}/65535$ .



**Рисунок 13. Описание прибора и принципов работы**

Выбор режима работы аналогово-цифрового преобразователя - от кварцевого генератора или внешнего источника тактовой частоты, задается программно.

Цифровой порт ввода/вывода содержит 16 линий - 8 на ввод (порт PB) и 8 на вывод (порт PA). Линии ввода и вывода независимы. Ввод может стробироваться сигналом STR\_DIO с соответствующего контакта разъёма XP1. Стробирование осуществляется уровнем логического нуля. Кроме режима программного ввода/вывода возможен ввод 4-х битов данных синхронно с данными АЦП. Это может использоваться в задачах, где необходимо фиксировать состояние цифровых линий параллельно с оцифровкой аналоговых входов. Также в задачах синхронизации собираемых данных, при объединении нескольких устройств в единую систему.

### **3.2. Электронная нагрузка.**

Принцип действия электронной нагрузки основан на изменении сопротивления затвора полевого транзистора VT1. Принципиальная схема электронной нагрузки представлена на рисунке (Рисунок 14.). Управление затвором транзистора обеспечивается микросхемой DA1 через операционный усилитель.

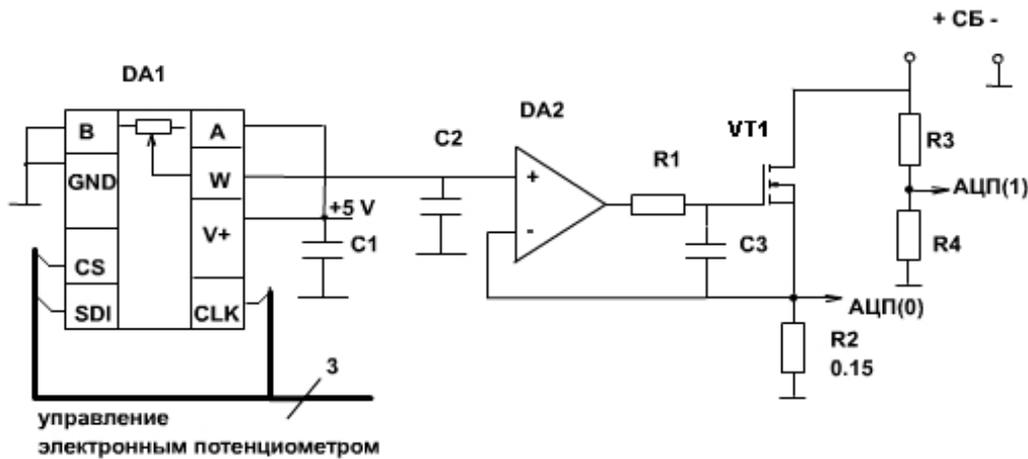


Рисунок 14. Принципиальная схема электронной нагрузки

Существует такое отношение на сопротивления:

$$R_H = R_T + R_{\Pi}$$

(12)

Где:  $R_H$  –сопротивление нагрузки,  $R_T$  –сопротивление транзистора VT1,  $R_{\Pi}$  –последовательное сопротивление последовательное(R2).

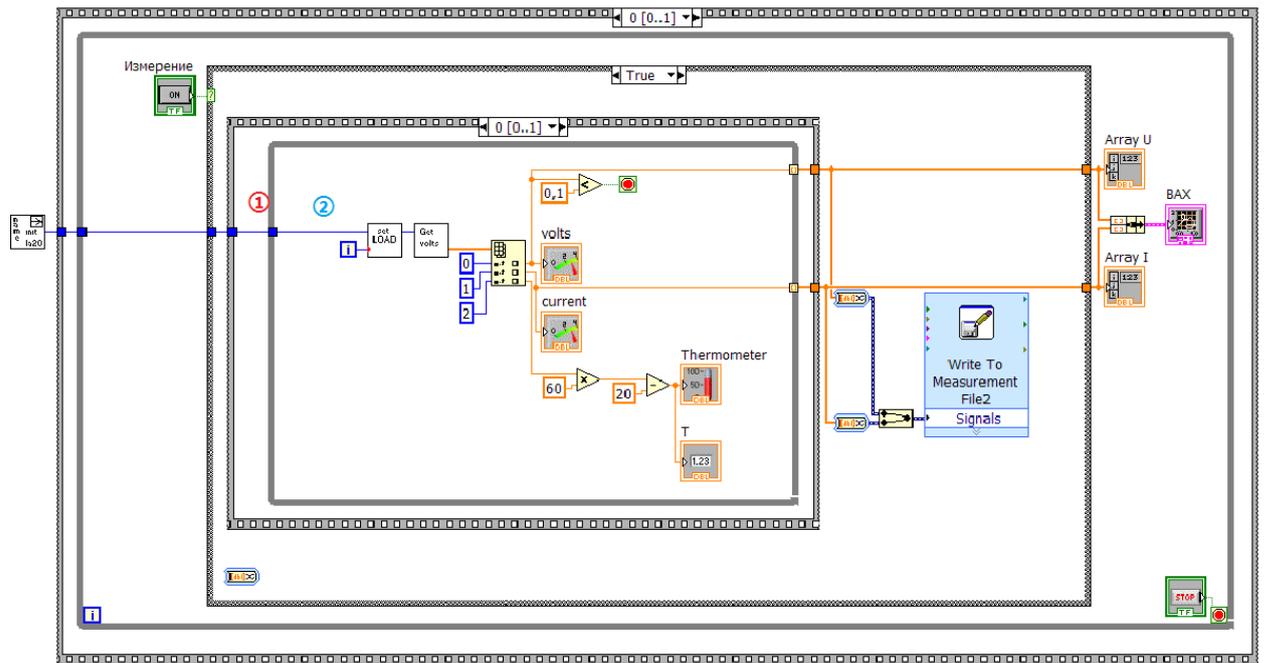
### 3.3. Создание программы измерения вольтамперной характеристики солнечной батареи в среде Labview.

Самые важные библиотеки – **Init\_la20**, **Set\_Load** и **Get\_Volts**.

**Init\_la20** инициализирует АЦП на плате и готовит его к работе. С его помощью считываются с солнечной батареи значения тока, напряжения и температуры платы в аналоговом виде и преобразуются

в цифровые сигналы. **Set\_Load** управляет нагрузкой солнечной батареи. Это регулятор, который снижает подключенное к солнечной батарее сопротивление, что приводит к изменению падения напряжения и тока и, таким образом, позволяет измерить те же параметры. **Get\_Volts** в итоге принимает все измеренные значения и преобразует их в форму, удобную для дальнейшей программной обработки.

Создать 2 кадра( ① ), внутри нулевого кадра создадим структуру цикл пока (While loop , ② ),соединить сравнение с условием выхода ,чтобы цикл прекращается и программа переходит в следующий кадр когда напряжения меньше 0.1(потому что на конце напряжения оставить 0.1В, и не меняться.). Переходить в следующий кадр и поместить внутри него **Set-load** с константам 0, когда входное напряжение меньше 0.1, цикл идет дальше.(Рисунок 15.)



**Рисунок 15. Диаграмма измерения вольтамперной характеристики солнечной батареи в автоматическом режиме в среде Labview.**

## **1. Система контроля параметров солнечных батарей на основе миникомпьютеров Beaglebone Black**

### **4.1 Описание BeagleBone Black**

BeagleBone Black является самым новым членом семьи BeagleBoard. Это более дешевой, высокой расширения

сосредоточены BeagleBoard с использованием низкой стоимости Sitara XAM3359AZCZ100 Cortex A8 процессор ARM от Texas Instruments. Он похож на Beaglebone, но удалены некоторые функции и добавлены некоторые функции. В таблице ниже приведены высокие точки на различиях между BeagleBone и BeagleBone Black.

Таблица 2.

	BeagleBone Black	BeagleBone
Processor	AM3358BZCZ100,1GHZ	AM3359ZCZ72,720MHZ
Video Out	HDMI	None
DRAM	512MB DDR3L 800MHZ	256MB DDR2 400MHZ
Flash	4GB Emmc, uSD	uSD
Onboard JTAG	Optional	Yes, over USB
Serial	Header	Via USB
PWR Exp Header	No	Yes
power	210-460 mA@5V	300-500 Ma@5V

Таблица 3.

	Feature
Processor	Sitara AM3358BZCZ100, 1 GHZ,200 MIPS
Graphics Engine	SGX530 3D,20M Polygons/S

SDRAM Memory	512MB DDR3L 800MHZ	
Onboard Flash	4GB, 8bit Embedded MMC	
PMIC	TPS65217C PMIC regulator and one additional LDO	
Debug Support	Optional Onboard 20-pin CTIJTAG, Serial Header	
Power Source	MiniUSB USB or DC Jack	5VDC External Via Expansion Header
PCB	3.4" * 2.1"	6slayers
Indicators	1-Power, 2-Ethernet, 4-User Controllable LEDs	
HS USB 2.0 Client Port	Access to USB0, Client mode via miniUSB	
HS USB 2.0 Host Port	Access to USB1, Type A Socket, 500mA LS/FS/HS	
Serial Port	UART0 access via 6 pin 3.3V TTL Header. Header is populated	
Ethernet	10/100,RJ45	
SD/MMC Connector	MicroSD , 3.3V	
User Input	Reset Button  Boot Button  Power Button	
Video Out	16b HDMI, 1280x1024(MAX)  1024x768,1280x720,1440x900,1920x1080@24Hz  w/EDID Support	
Audio	Via HDMI Interface, Stereo	

Expansion Connectors	Power 5V, 3.3V, VDD_ADC(1.8V) 3.3V I/O on all signals McASP0, SPI1, I2C, GPIO(69 max), LCD, GPMC, MMC1, MMC2, 7AIN(1.8V MAX, 4 Timers, 4Serial Ports, CAN0, EHPWM(0,2), XDMA Interrupt, Power botton, Expansion Board ID
Weight	1.4 oz(39.68 grams)
Power	Refer to Section 6.1.7

Многие производители, которые работают на электронике любят микроконтроллер Arduino, но, как сложность возрастает в своих проектах, иногда 8-разрядный микроконтроллер не имеет силы или возможности делать то, что им нужно это делать. Например, если вы хотите использовать алгоритмы камеры и компьютерного зрения, чтобы обнаружить грязную посуду в раковине, это может быть хорошей идеей, чтобы изучить ваши варианты со встроенными макетных плат Linux. Эти платы, как правило, более мощными и более способными, чем их 8-битные кузенов и иногда идеальное решение для проектов, которые слишком сложны для нашего любимого Arduino.

Не только это, но так как цена встраиваемых платформ Linux падает, сообщество поддержки вокруг них растет, что делает их гораздо более доступными для начинающих и промежуточные производители, чем когда-либо прежде.

BeagleBone Black (рисунок 16.) представляет собой встроенная плата Linux, которая направлена на хакеров и мастеров. Оба с открытым исходным кодом аппаратного и используют процессоры Cortex-A серии ARM TI, BeagleBone Black предназначен для низковольтного мобильных устройств.

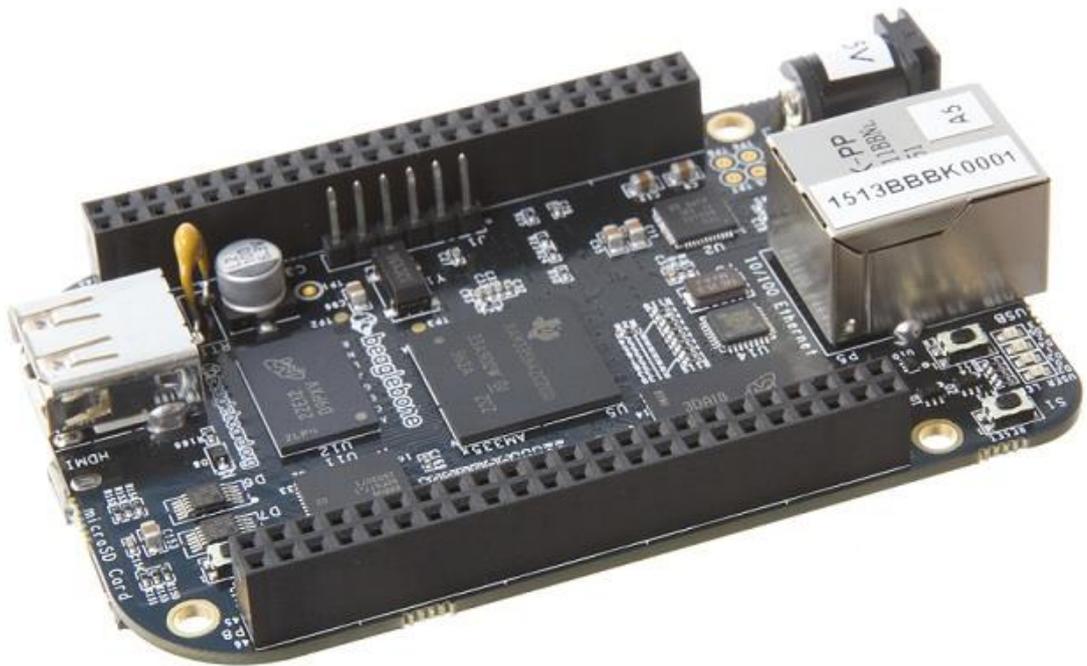


Рисунок16. BeagleBone Black

В сегодняшний день, типичный микроконтроллер на основе платы стоит около \$ 20, в то время BeagleBone Black продается за \$ 45. Кроме более мощного процессора, что вы получаете за дополнительные деньги?

Бывает очень популярное Raspberry Pi, и, хотя это очень похоже на BeagleBone, есть, конечно, несколько отличий. С

одной стороны, Raspberry Pi понимается как компьютер с низким уровнем затрат, чтобы узнать о том, как компьютеры работают и как как программировать их. Из-за этого, аппаратные средства, программное обеспечение и документация ориентированы на эту цель. С другой стороны, BeagleBone направлено более широко на людей, заинтересованных в встраиваемых Linux макетных платах и, следовательно, имеет больше возможностей для подключения оборудования и имеет более мощный процессор.

АЦП в настоящее время имеет три метода доступны. установки, чтения и чтение сырьем. Вы должны убедиться, вы используете настройки перед чтением, иначе ошибка будет выброшено.

### Установка

Для настройки АЦП, просто импортировать модуль, и вызовите настройки: Setup

```
import Adafruit_BBIO.ADC as ADC  
  
ADC.setup()
```

Затем, чтобы читать аналоговые значения на P9\_40, просто читать их:

```
value = ADC.read("P9_40")
```

Значения, возвращенные от чтения находятся в диапазоне от 0 - 1,0. Вы можете получить напряжение, выполнив следующие:

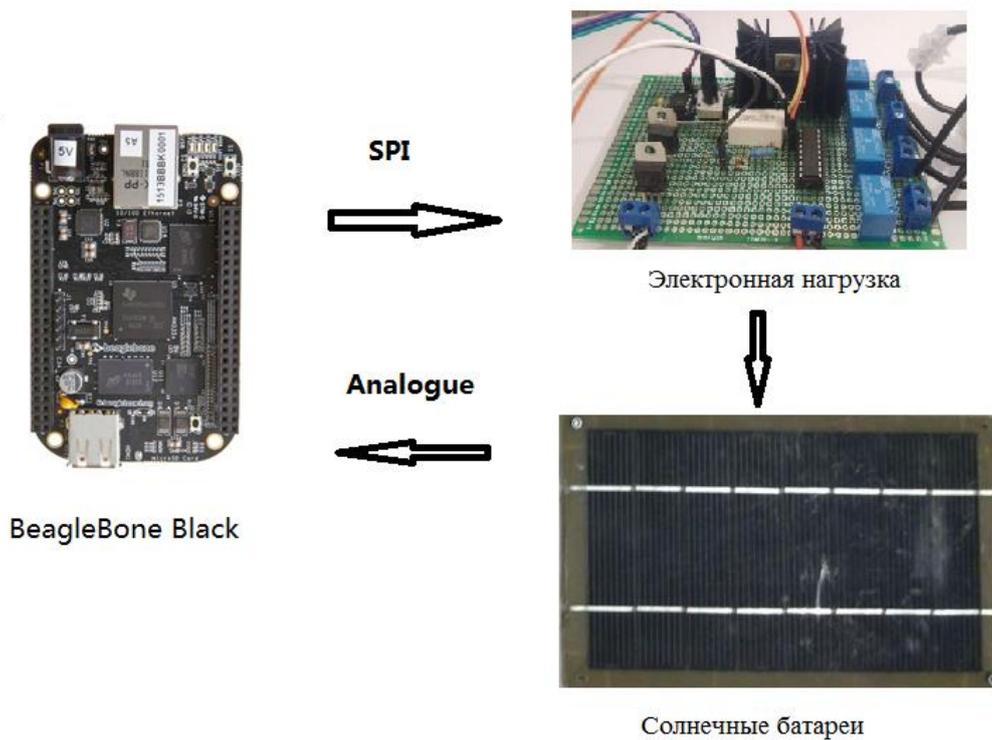
```
import Adafruit_BBIO.ADC as ADC

ADC.setup()
value = ADC.read("P9_40")
voltage = value * 1.8 #1.8V
```

Таким образом, измерение состоит из двух частей:

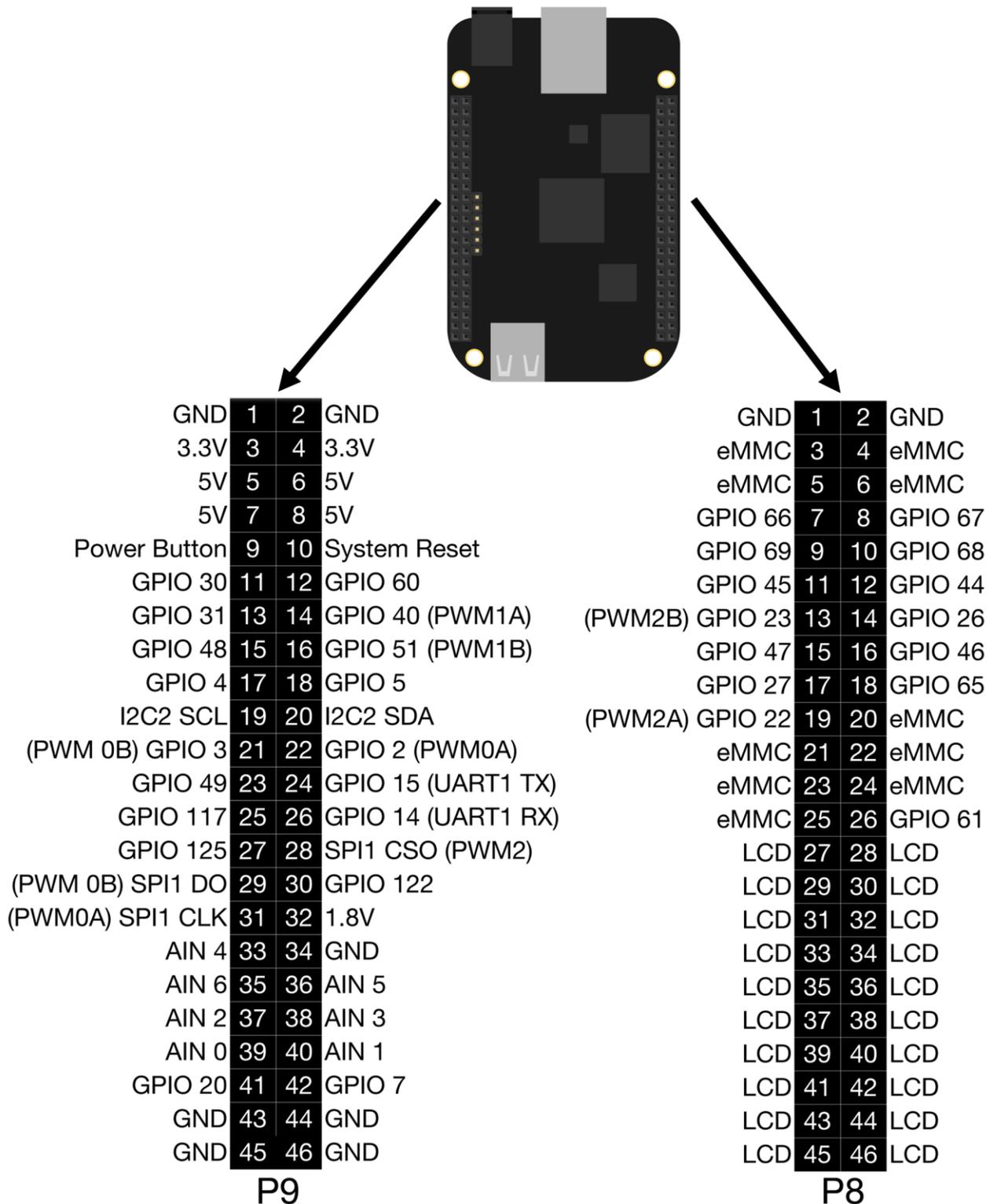
- Считывание значение напряжения и тока СЭ: Beaglebone black представляет 7 доступные разъемы АЦП, так как одновременно измерять несколько параметры возможен.

- Регулирование значение электронной нагрузки: впечатать программу с циклами, которая увеличит значение электронной нагрузки с нуля, когда значение тока СЭ менее 0.1 (значит цепь СЭ разомкнута), измерение завершено.



**Рисунок 17.** Блок схема измерения параметров.

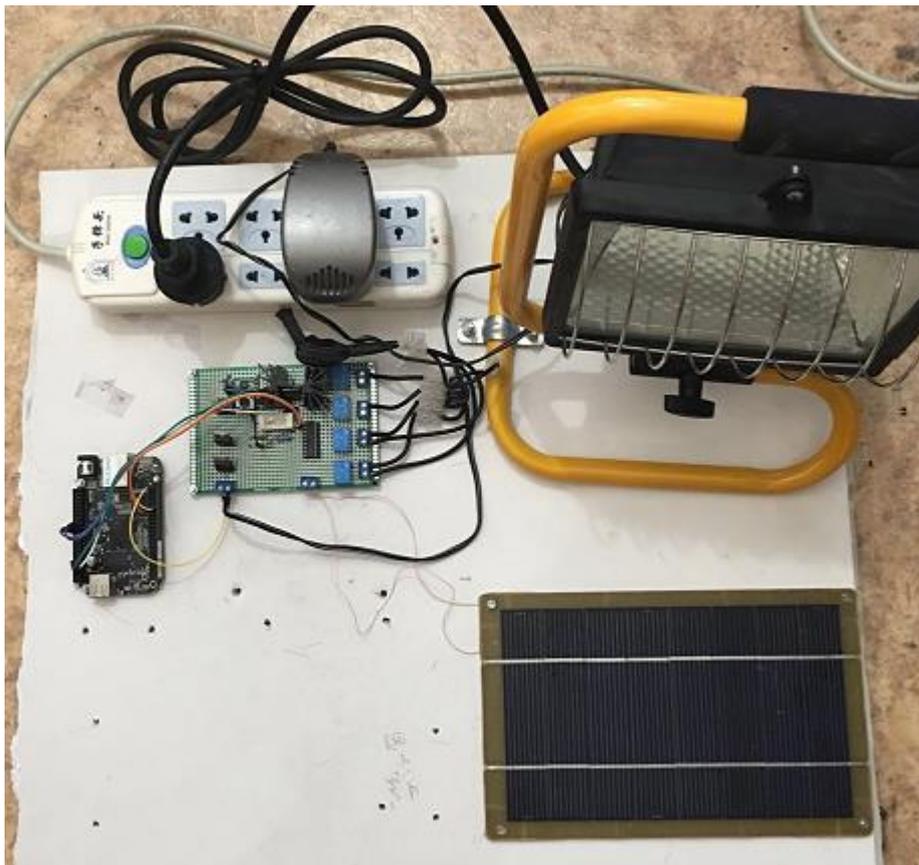
После запуска готового программы, Beaglebone Black запишет данные тока и напряжения солнечного элемента при изменением нагрузки, с полученными данными построить вольтамперную характеристику и получить нужные параметры.



**Рисунок 18. Размещение выводов клеммных колодок P8 и P9**

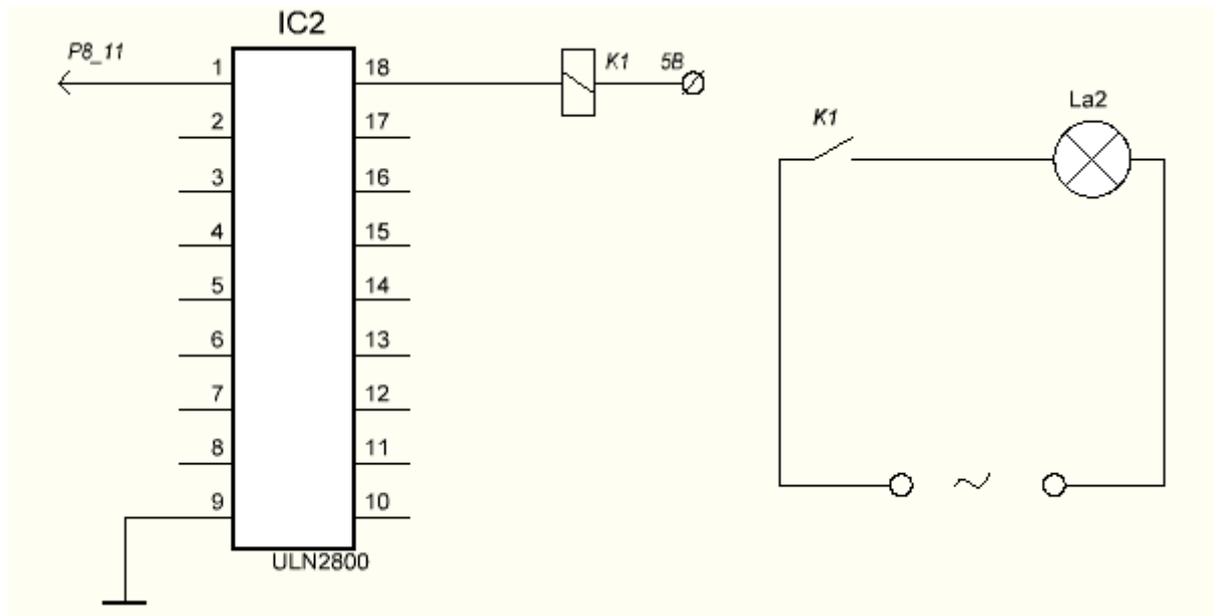
## 4.2. Схемы и принцип работы печатной платы

На рисунке 19 представлено размещение деталей на печатной плате.



**Рисунок 19. Размещение деталей на плате**

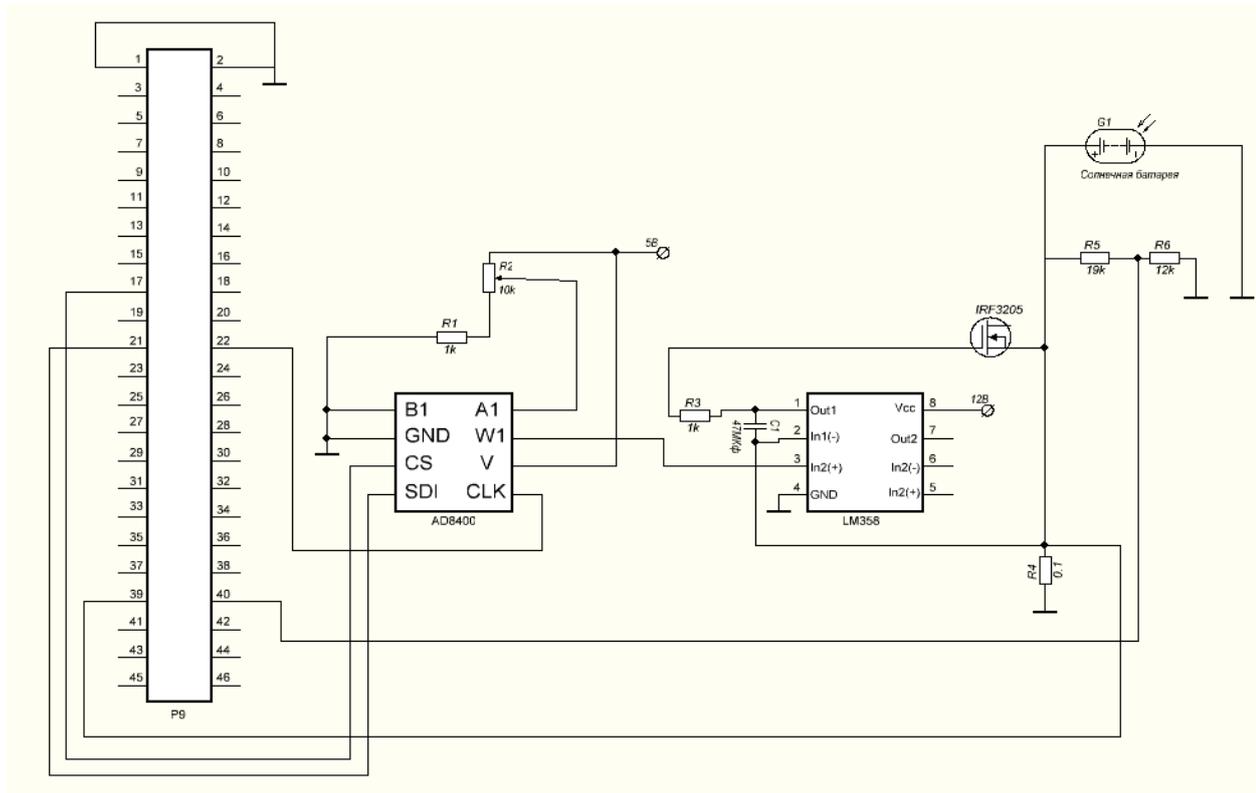
На плате размещены солнечная батарея, галогенная лампа, электронная нагрузка, реле и источник питания. Реле контролирует лампу, которую играет роль имитатор солнечное излучение.



**Рисунок 20. Драйвер Дарлингтона и реле**

Драйвер Дарлингтона, изготовленный на основе транзисторов для управления реле, шаговыми двигателями, лампами, светодиодными дисплеями

Усиленный сигнал подаётся на фильтр верхних частот, подавляющий частоты меньше частоты среза.



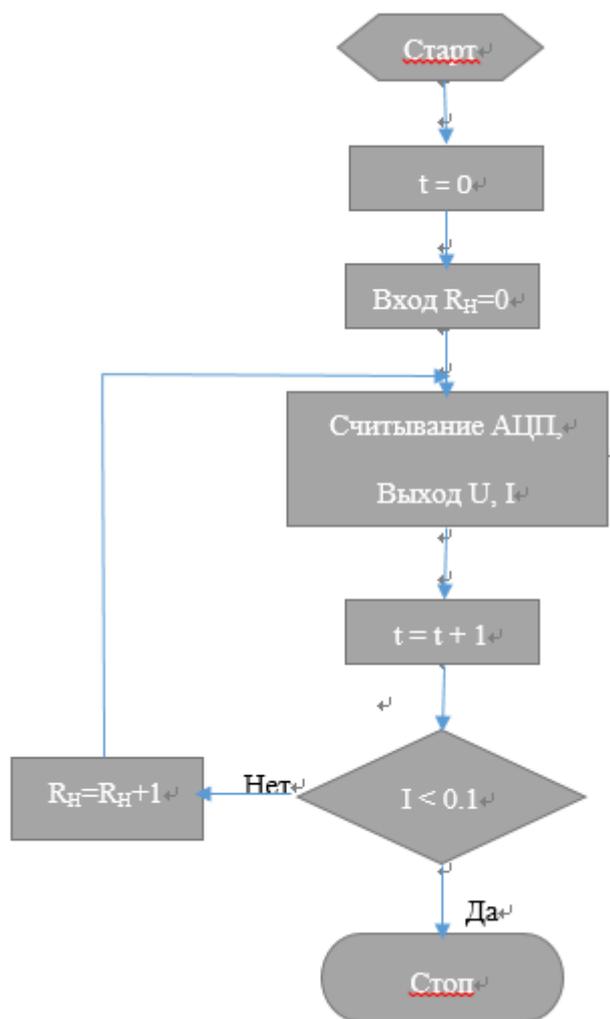
**Рисунок 21. Электронная нагрузка**

Имеют функции, что:

- Считывание значение напряжения и тока СЭ.
- Управление сопротивлению электронной нагрузки.

### 4.3. Принцип работы алгоритма

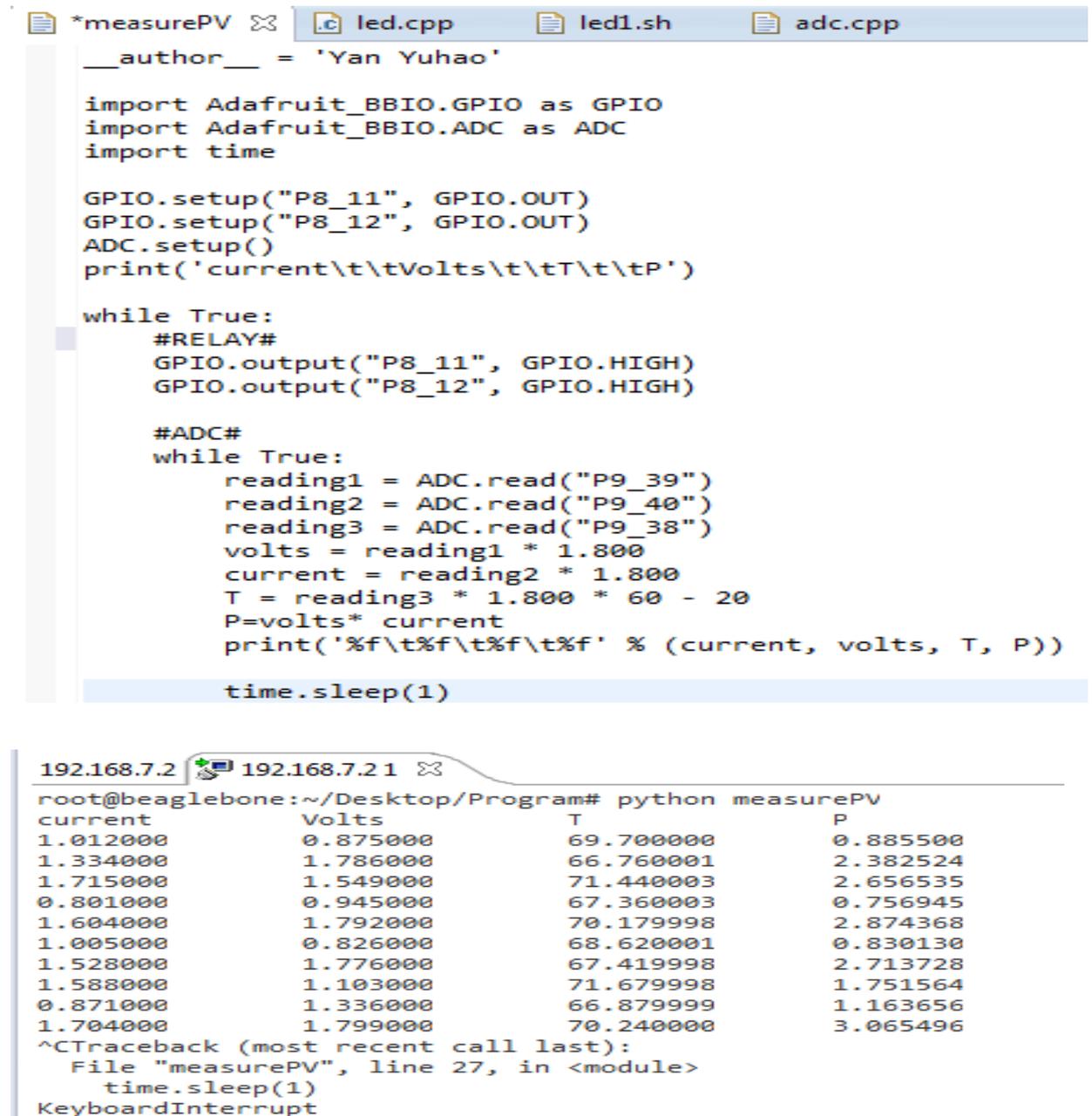
На рисунке 22 представлена блок-схема алгоритма, обрабатывающегося в *Beaglebone* и управляющего освещением.



**Рисунок 22.** Алгоритм программы измерения параметров

Вначале выполняются подготовительные действия, к которым относятся определение переменных, включение светодиода на Beaglebone, сигнализирующего начало и обработку алгоритма, инициализация вводов-выводов. Затем алгоритм входит в цикл управления сопротивлением. Первым действием цикла является установление выхода SPI в 0. Далее считываются сигналы с СБ. В качестве следующего действия, алгоритм увеличит сопротивление

ЭН. Когда получающий ток менее 0.1 А, измерение завершено, с этими данными построить ВАХ.



```
*measurePV ✕ | led.cpp | led1.sh | adc.cpp
__author__ = 'Yan Yuhao'

import Adafruit_BBIO.GPIO as GPIO
import Adafruit_BBIO.ADC as ADC
import time

GPIO.setup("P8_11", GPIO.OUT)
GPIO.setup("P8_12", GPIO.OUT)
ADC.setup()
print('current\t\tVolts\t\tT\t\tP')

while True:
    #RELAY#
    GPIO.output("P8_11", GPIO.HIGH)
    GPIO.output("P8_12", GPIO.HIGH)

    #ADC#
    while True:
        reading1 = ADC.read("P9_39")
        reading2 = ADC.read("P9_40")
        reading3 = ADC.read("P9_38")
        volts = reading1 * 1.800
        current = reading2 * 1.800
        T = reading3 * 1.800 * 60 - 20
        P=volts* current
        print('%f\t%f\t%f\t%f' % (current, volts, T, P))

    time.sleep(1)
```

```
192.168.7.2 | 192.168.7.21 ✕
root@beaglebone:~/Desktop/Program# python measurePV
current          Volts           T               P
1.012000         0.875000       69.700000      0.885500
1.334000         1.786000       66.760001      2.382524
1.715000         1.549000       71.440003      2.656535
0.801000         0.945000       67.360003      0.756945
1.604000         1.792000       70.179998      2.874368
1.005000         0.826000       68.620001      0.830130
1.528000         1.776000       67.419998      2.713728
1.588000         1.103000       71.679998      1.751564
0.871000         1.336000       66.879999      1.163656
1.704000         1.799000       70.240000      3.065496
^CTraceback (most recent call last):
  File "measurePV", line 27, in <module>
    time.sleep(1)
KeyboardInterrupt
```

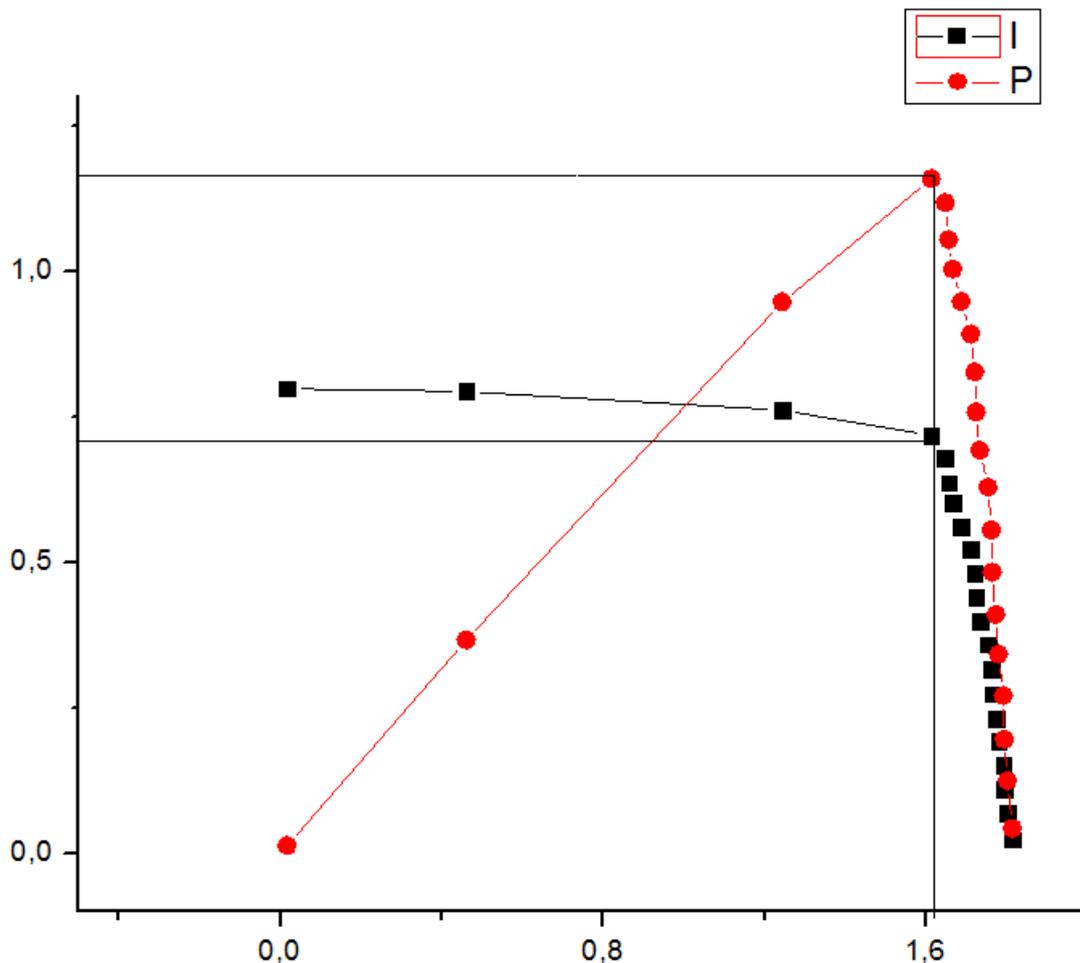
Рисунок 23. Программа измерения

#### 4.4. Измерение параметров солнечных батарей, регламентируемый ГОСТ 28977-91.

ГОСТ 28977-91, это настоящий стандарт распространяется на методику измерения вольтамперных характеристик кристаллических кремниевых фотоэлектрических приборов при естественном и имитированном солнечном свете.

Таблица4. Данные измерения

	A(X)	B(Y)	C(Y)
Long Name			
Units			
Comments	U	I	P
1	1,814	0,0233	0,04227
2	1,802	0,069	0,12434
3	1,794	0,109	0,19555
4	1,792	0,151	0,27059
5	1,78	0,192	0,34176
6	1,773	0,231	0,40956
7	1,765	0,273	0,48185
8	1,762	0,315	0,55503
9	1,754	0,358	0,62793
10	1,734	0,399	0,69187
11	1,725	0,439	0,75728
12	1,721	0,48	0,82608
13	1,711	0,521	0,89143
14	1,688	0,561	0,94697
15	1,667	0,602	1,00353
16	1,657	0,636	1,05385
17	1,648	0,678	1,11734
18	1,613	0,718	1,15813
19	1,244	0,761	0,94668
20	0,461	0,793	0,36557
21	0,016	0,798	0,01277



**Рисунок 24. Практическая вольтамперная характеристика СЭ и зависимость выделяемой мощности на нагрузке от напряжения.**

Получены данные из АЦП Beaglebone Black, проведена обработка на пакете Origin и построить ВАХ, то получается параметры солнечного элемента.

Нашел рабочий ток и рабочее напряжение:  $U_p=1.63V$ ,  $I_p=0.71A$

Площадь измерял по линейке

Площадь батареи:  $S=L*h=0.125м*0.2м= 0.025м^2$

Где: ширина  $L=0.125м$  ,высота  $h=0.2м$  Солнечная  
радиация:  $W=500Ватт/м^2$

$$\eta = \frac{U_p * I_p}{S * W} = \frac{1.63 * 0.71}{0.025 * 500} * 100\% = 9.26\%$$

$$FF = \frac{V_p \times I_p}{V_{xx} \times I_{кз}} = \frac{1.63 * 0.71}{1.814 * 0.798} = 0.799$$

## **Заключение**

В ходе выполнения магистерской диссертации были проведены исследования основных методов и средства солнечных батарей. Также была разработана принципиальная электрическая схема и разведена печатная плата электронной нагрузки. Изготовлена экмпресс-измеритель параметров солнечных батарей. Изучены миникомпьютер Beaglebone Black и его программирование.

В данной работе приведены измерения и расчета параметров солнечных батарей, зарегистрированных различными способами: на основе SoC систем, а также проведено сравнение с измерением на основе плата сбора данных LA20USB.

## Список используемых источников

1. Колтун М.М., Оптика и метрология солнечных элементов.

Издательство «Наука» Москва 1985;

2. <http://www.sveto-tehnika.ru/ru/fullarticles/pages/fullarticles/svt01-2005-tomsk>;

3. <http://www.freepatent.ru/patents/2380663>;

4. [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%EE%EB%ED%E5%F7%ED%E0%FF\\_%FD%ED%E5%F0%E3%E5%F2%E8%EA%E0](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%EE%EB%ED%E5%F7%ED%E0%FF_%FD%ED%E5%F0%E3%E5%F2%E8%EA%E0);

5. Юрченко А.В. Влияние суточной и годовой динамики освещенности на эффективности работы светотехнических устройств с питанием от солнечных элементов. Тезисы докладов IV Международной светотехнической конференции. Вологда. 2000 г. С. 110.

6. Юрченко А.В., Бакин П.П., Ковалевский В.К., Плотников А.П., Ушеренко А.А. Результаты климатических испытаний солнечной батареи в натуральных условиях г. Томска. Оптика атмосферы и океана. 1998 г. Т. 11. № 12. С. 1337.

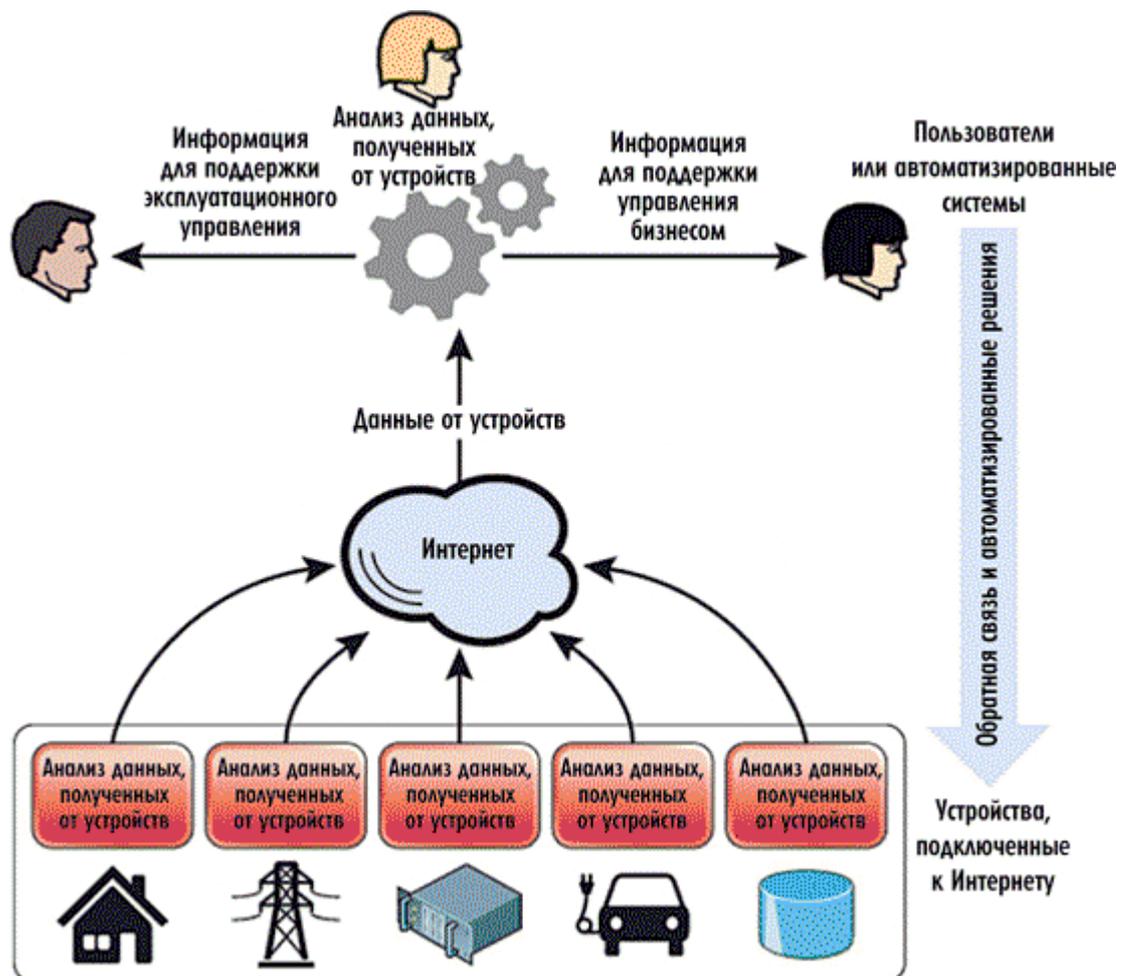
7.Юрченко А.В., Ковалевский В.К., Плотников А.П. Климатические испытания солнечных батарей. Электронная промышленность. 2002 г. № 2-3. С. 189-192.

8. Юрченко А.В., Миносков А.Л. Юрченко В.И. Автономная малогабаритная станция приготовления питьевой воды с солнечной батареей. Труды международной научно-технической конференции «Техника и технология очистки и контроля качества воды». Томск. Политехнический университет. 1999. С.164.

9. Matt Richardson. Getting Started With BeagleBone. – Maker Media, Inc. 2013. –3 с.

## BeagleBone Black Description

IoT (Internet of things), this fashionable phrase is one of the most popular terms in the IT field, things will exchange information in connection with sensors and internet to each other, and all things are under the control of people through the Internet. Obviously, the smart home and smart city becomes a real long. There are new demands on the measuring device that people can monitor and control many things in one phone.



**Figure. 1.** Typical architecture of IoT

This intelligent information system implemented with a variety of measuring instruments, micro-controller, a personal computer with a data acquisition board and embedded system (a minicomputer). I believe that the versatility of the measurement system must be carried out using a minicomputer, not a microcontroller, because

minicomputer change the measurement program is much easier than with a microcontroller. In addition, the minicomputer can immediately perform data processing and analysis. Personal computer also inferior minicomputer, firstly, smaller volume, since that much easier, and secondly, we could pay ten times less for a monitoring base.

Ready to join your home or office to the Internet of Things, in which physical projects interact with the internet? There are many different types of minicomputer, Beaglebone black is the best choice, although it is not the cheapest, since all the major Internet tools to Linux were possible, can use FTP, Telnet, SSH, even the web server to make it easier to implement electronic project through the Internet and open source code. Small enough to fit into a mint tin, the BeagleBone Black looks similar to other boards but has the strength of a computer: an embedded Linux development board that's aimed at hackers and tinkerers.

The BeagleBone Black is the newest member of the BeagleBoard family. It is a lower-cost, high-expansion focused BeagleBoard using a low cost Sitara XAM3359AZCZ100 Cortex A8 ARM processor from Texas Instruments. It is similar to the Beaglebone, but with some features removed and some features added. The table below gives the high points on the differences between the BeagleBone and BeagleBone Black.

	BeagleBone Black	BeagleBone
Processor	AM3358BZCZ100,1GHZ	AM3359ZCZ72,720MHZ
Video Out	HDMI	None
DRAM	512MB DDR3L 800MHZ	256MB DDR2 400MHZ
Flash	4GB Emmc, uSD	uSD
Onboard JTAG	Optional	Yes, over USB

Serial	Header	Via USB
PWR Exp Header	No	Yes
power	210-460 mA@5V	300-500 Ma@5V

### BeagleBone Black Features

The following table lists the key features of the BeagleBone Black.

	Feature	
Processor	Sitara AM3358BZCZ100, 1 GHZ,200 MIPS	
Graphics Engine	SGX530 3D,20M Polygons/S	
SDRAM Memory	512MB DDR3L 800MHZ	
Onboard Flash	4GB, 8bit Embedded MMC	
PMIC	TPS65217C PMIC regulator and one additional LDO	
Debug Support	Optional Onboard 20-pin CTIJTAG, Serial Header	
Power Source	MiniUSB USB or DC Jack	5VDC External Via Expansion Header
PCB	3.4" * 2.1"	6slayers
Indicators	1-Power, 2-Ethernet, 4-User Controllable LEDs	
HS USB 2.0 Client Port	Access to USB0, Client mode via miniUSB	
HS USB 2.0 Host Port	Access to USB1, Type A Socket, 500mA LS/FS/HS	

Serial Port	UART0 access via 6 pin 3.3V TTL Header. Header is populated
Ethernet	10/100,RJ45
SD/MMC Connector	MicroSD , 3.3V
User Input	Reset Button Boot Button Power Button
Video Out	16b HDMI, 1280x1024(MAX) 1024x768,1280x720,1440x900,1920x1080@24Hz w/EDID Support
Audio	Via HDMI Interface, Stereo
Expansion Connectors	Power 5V, 3.3V, VDD_ADC(1.8V) 3.3V I/O on all signals McASP0, SPI1, I2C, GPIO(69 max), LCD, GPMC, MMC1, MMC2 ,7AIN(1.8V MAX, 4 Timers, 4Serial Ports, CAN0, EHPRWM(0,2), XDMA Interrupt, Power button, Expansion Board ID
Weight	1.4 oz(39.68 grams)
Power	Refer to Section 6.1.7

Many makers who work with electronics love microcontroller platforms like the Arduino, but as the complexity increases in their projects, sometimes an 8-bit microcontroller doesn't have the power or capabilities to do what they need it to do. For example, if you want to use a camera and computer vision algorithms to detect dirty dishes in your sink, it might be a good idea to explore your options with embedded Linux development boards. These boards are generally more powerful and more capable than their 8-bit cousins and are sometimes the perfect solution for projects that are too complex for our beloved Arduino.

Not only that, but as the price of embedded Linux platforms drops, the community of support around them grows, which makes them much more accessible to novice and intermediate makers than ever before.

The BeagleBone (Figure.2) is an embedded Linux development board that's aimed at hackers and tinkerers. It's a smaller, more barebone version of their BeagleBoard. Both are open source hardware and use Texas Instruments' processors with an ARM Cortex-A series core, which are designed for lowpower mobile devices.

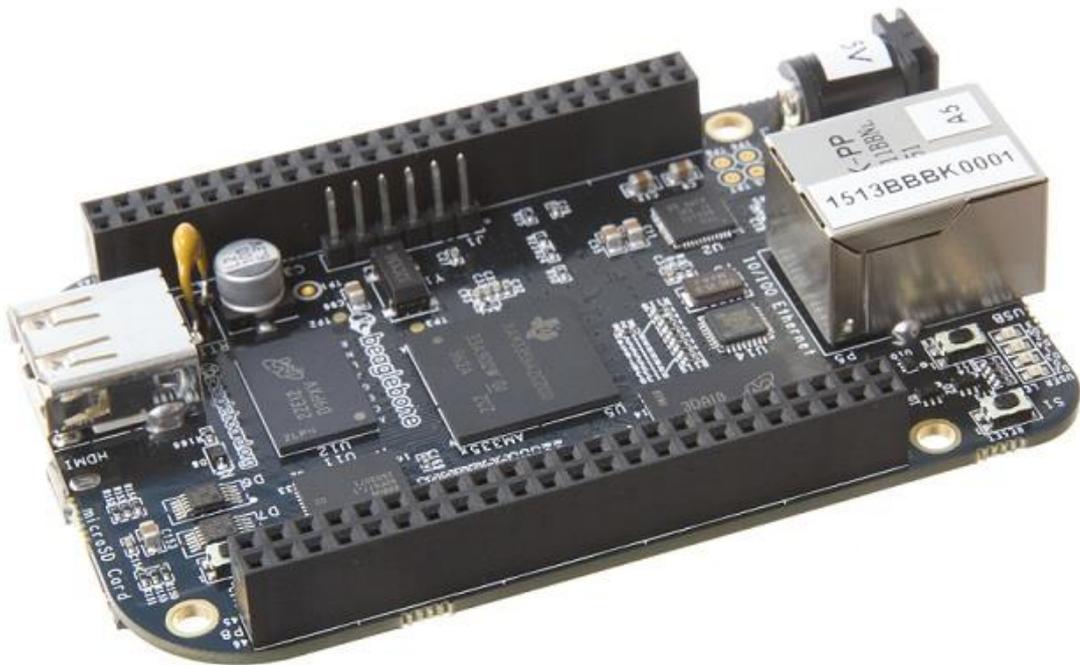


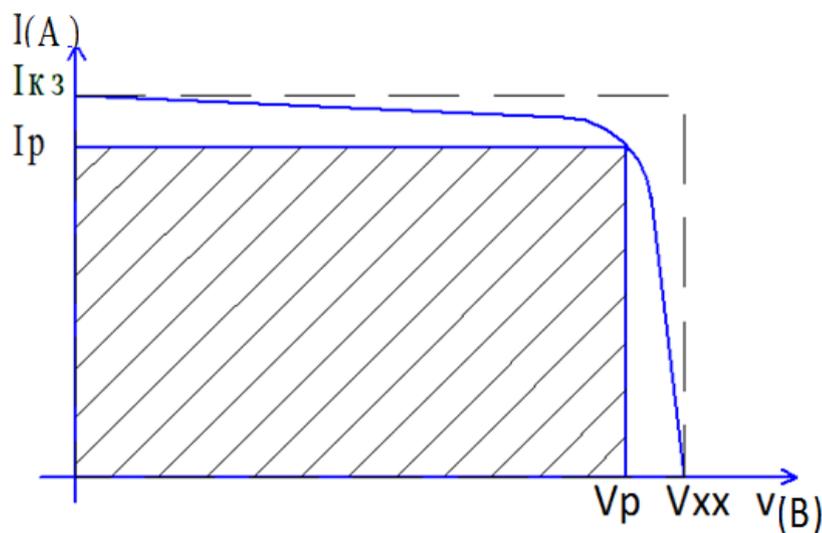
Figure.2 BeagleBone Black Picture

These days, a typical microcontroller-based board costs around \$20, while the BeagleBone Black retails for \$45 at the time of press. Other than a more powerful processor, what are you getting for the extra money?

There's a lot of buzz around Raspberry Pi, and while it's quite similar to the BeagleBone, there are certainly a few differences. For one, the Raspberry Pi is meant as a low-cost computer to encourage the younger generation to learn about how computers work and how to program them. Because of that, the hardware, software, and documentation are geared towards that objective. On the other hand, the

BeagleBone is aimed more broadly at people interested in embedded Linux development boards and therefore has more options for connecting hardware and has a more powerful processor.

Typically used for the measurement of current-voltage characteristics of solar cell parameters (Figure. 3). Added electronic load on the solar cell, if solar cell is short-circuited (load resistance is zero), the excess separated by a p-n junction, the generated charge carriers will be able to circulate through the short circuit, creating the highest possible value of the current - short-circuit current  $I_{sc}$ . In this case there is no accumulation of excess charge from the p-n transition occurs. The potential barrier will have the same height as the absence of optical radiation. Emf (Photoelectromotive force) will be zero. If the circuit of solar cell is open (infinite load resistance), all separated by a p-n junction, the charge carriers are collected at the p-n junction and compensate potential barrier, creating a photoelectromotive force equal to the voltage of idling  $V_{hh}$ . With electronic control of the load resistance from the ground up to the limit, current-voltage characteristics of solar cell is obtained.



**Figure. 2.** Volt-ampere characteristics of solar cell

With the help of ADC, read the current and voltage became available.

ADC

To setup ADC, simply import the module, and call setup:

```
import Adafruit_BBIO.ADC as ADC

ADC.setup()
```

Then, to read the analog values on P9\_40, simply read them:

```
value = ADC.read("P9_40")
```

The values returned from read are in the range of 0 - 1.0. You can get the voltage by doing

the following:

```
import Adafruit_BBIO.ADC as ADC

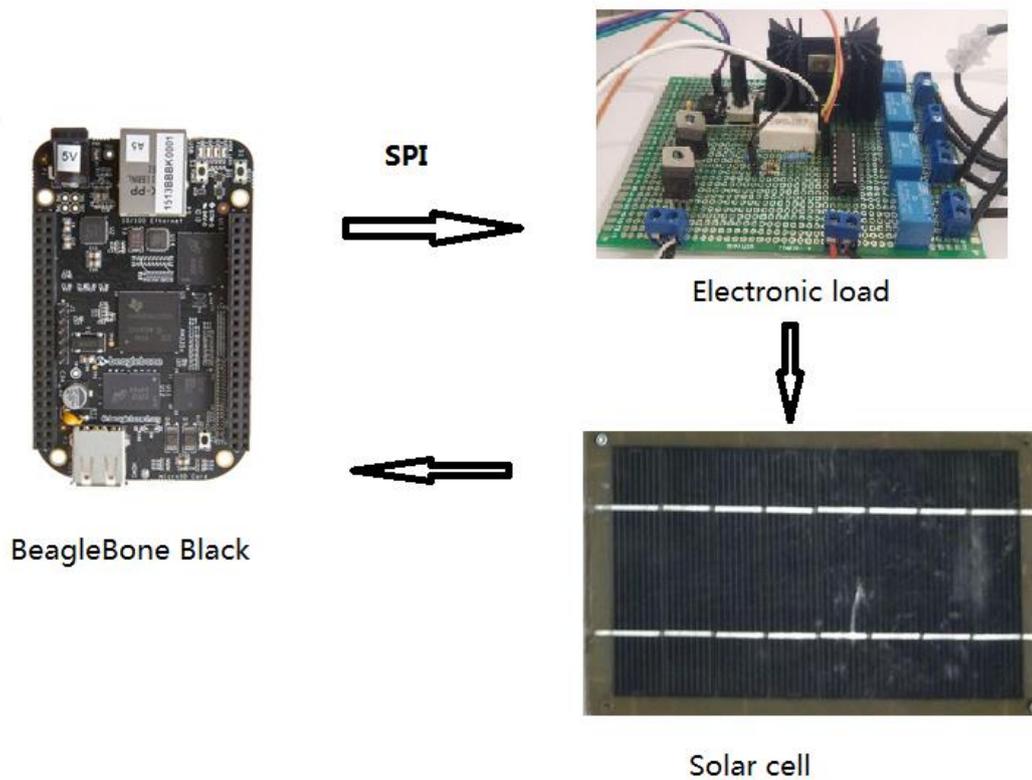
ADC.setup()
value = ADC.read("P9_40")
voltage = value * 1.8 #1.8V
```

Thus, the measurement consists of two parts:

Read the voltage and current on solar cell: Beaglebone black there is 7 ADC connectors available on Beaglebone Black as to simultaneously measure multiple parameters possible.

Regulation of the value of electronic load: type in the program cycle, which increase the value of e-load from the ground, when the current value of solar ce;; less

than 0.1 (mean solar cell circuit open), the measurement is completed.



**Figure. 3.** Diagram of the measurement parameters

Launching the program, Beaglebone Black will record the current data and the voltage of the solar cell when the load change, with the findings to build a voltage-current characteristic and obtain the necessary parameters.

# Приложение Б.

