Министерство образования и науки Российской Федерации

Новосибирский государственный технический университет

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Силовая электроника для возобновляемой энергетики»

Введение

Учебно-методические указания к выполнению лабораторных работ разработаны на кафедре Электроники и электротехники и предназначены для студентов специальности «Промышленная электроника и микропроцессорная техника». Подготовка к работе включает углубленное изучение соответствующего раздела курса, ознакомление с методикой выполнения работы, подготовка необходимых таблиц для внесения результатов, подготовка ответов на контрольные вопросы.

Выполнение лабораторной работы включает следующие этапы:

- самостоятельная подготовка к лабораторному занятию с использованием данных методических указаний и дополнительной литературы;
- выполнение необходимых измерений в лаборатории;
- оформление результатов исследований в форме отчета, структура которого указана в каждой работе;
- защита отчета по выполненной лабораторной работе.

Целью лабораторных занятий является закрепление теоретических знаний по лекционному материалу, а также развитие навыков самостоятельной работы, умение делать выводы по результатам проведенных исследований.

Лабораторная работа №1

Напряжение холостого хода, ток короткого замыкания и ВАХ при различной степени интенсивности облучения.

Особое место среди альтернативных и возобновляемых источников энергии занимают фотоэлектрические преобразователи солнечной энергии, изучение которых превратилось в отдельное научное направление – фотовольтаику.

Фотовольтаика – это метод выработки электрической энергии путем использования фоточувствительных элементов для преобразования солнечной энергии в электричество. Термин «фотовольтаика» означает обычный рабочий режим фотодиода, при котором электрический ток возникает исключительно благодаря преобразованной энергии света.

Для генерации электричества от солнца нужен солнечный модуль, который состоит из одного или многих солнечных фотоэлектрических элементов. Когда на солнечный элемент падает солнечных свет, материал солнечного элемента поглощает часть солнечного света (фотоны). Каждый фотон имеет малое количество энергии. Когда фотон поглощается, он инициирует процесс освобождения электрона в солнечном элементе. Вследствие того, что обе стороны фотоэлектрического элемента имеют токоотводы, в цепи возникает ток когда фотон поглощается. Солнечный элемент генерирует электричество, которое может быть использовано сразу или сохранено в аккумуляторной батарее.

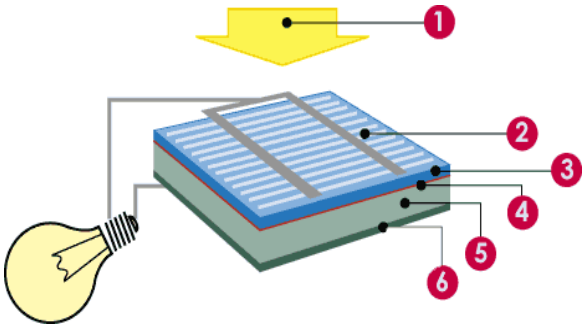


Рис. 1 Структура солнечного элемента. 1 – свет, 2 – фронтальный контакт, 3 – негативный слой, 4 – слой p-n перехода, 5 – позитивный слой, 6 – задний контакт

Пока солнечный элемент освещается, процесс образования свободных электронов продолжается и генерируется электричество. Материалы, из которых делается элемент - это полупроводники с особыми свойствами.

Для оценки эксплуатационных характеристик солнечного элемента используют следующие параметры: ток короткого замыкания, напряжение холостого хода, ток и напряжение в максимуме выходной мощности, последовательное и шунтирующие сопротивления солнечного элемента, коэффициент полезного действия, коэффициент заполнения нагрузочной кривой.

Все указанные параметры определяются из вольт-амперной характеристики (ВАХ) солнечного элемента.

Напряжение холостого хода фотогальванического элемента

Напряжение холостого хода Uxx, является наибольшим напряжением, которое может встречаться на контактах фотогальванического элемента, и величина которого важна для выбора параметров нижеследующей схемы (например, инвертора). Полупроводниковый материал, из которого сделан фотогальванический элемент, определяет напряжение, которое можно снять с фотогальванического элемента.

На величину напряжения холостого хода оказывают влияние следующие факторы:

- интенсивность облучения (инсоляция);
- угол облучения;
- температура.

Интенсивность облучения: На рисунке 2 представлена зависимость напряжения холостого хода от интенсивности облучения.

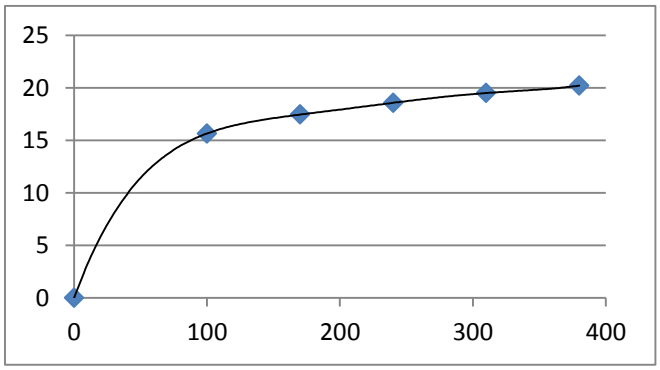


Рис. 2 Зависимость напряжения холостого хода от интенсивности облучения

Очевидно, что напряжение холостого хода имеет нелинейную зависимость от силы облучения. Уже при очень низком уровне облучения, генерируется почти полное напряжение.

Угол облучения: Напряжение холостого хода имеет наибольшую величину при вертикально падающем свете.

*Температура: Н*апряжение холостого хода фотогальванического элемента имеет отрицательный температурный коэффициент, т.е. если фотогальванический элемент (или модуль) нагревается (например, от падающего света), то с ростом температуры, напряжение холостого хода уменьшается. Вследствие чего, максимальное напряжение холостого хода наблюдается при низкой температуре (зимой).

В тёплых регионах необходимо использоватьбольшее количество элементовфотогальванических модулей, чем обычно (например, 40 элементов, вместо 36).

Ток короткого замыкания

Ток короткого замыкания I_K , является максимально возможным по силе током, который могут давать фотогальванические элементы. Фотогальванический элемент устойчив к воздействию тока короткого замыкания, не происходит порчи оборудования, так как величина тока короткого замыкания лишь незначительно превышает величину номинального тока, вследствие этого модульные соединения могут не иметь предохранителей, защищающих их от тока короткого замыкания. Однако проводка должнавыдерживать величину тока короткого замыкания, так как из-за тока короткого замыкания, возникшего вследствие дефекта (пробой изоляции), может возникнуть электрическая дуга.

Ток короткого замыкания зависит от:

- интенсивности облучения;
- угла облучения;
- температуры.

Интенсивность облучения: Ток короткого замыкания имеет линейную зависимостьот интенсивности облучения (в связи с чем, короткозамкнутые фотогальванические элементы служат датчиками в измерительных приборах интенсивности облучения). На Рис.3 представлена тока короткого замыкания от интенсивности облучения.

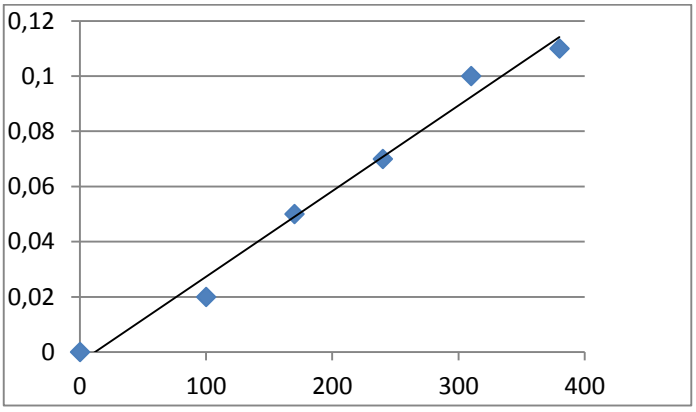


Рис.3 Зависимость тока короткого замыкания от интенсивности облучения

Угол облучения: Ток короткого замыкания имеет наибольшую величину при вертикально падающем свете.

Температура: Ток короткого замыкания имеет положительный температурный коэффициент, т.е., при нагревании фотогальванического элемента, ток увеличивается.

Вольт – амперная характеристика: Между двумя рабочими точками - точкой холостого хода и точкой короткого замыкания - находятся и другие рабочие точки, имеющие различную величину тока и напряжения. Совокупность этих точек измерений составляет вольт - амперную характеристику (ВАХ).

На рис.3представлена ВАХ фотогальванического элемента.

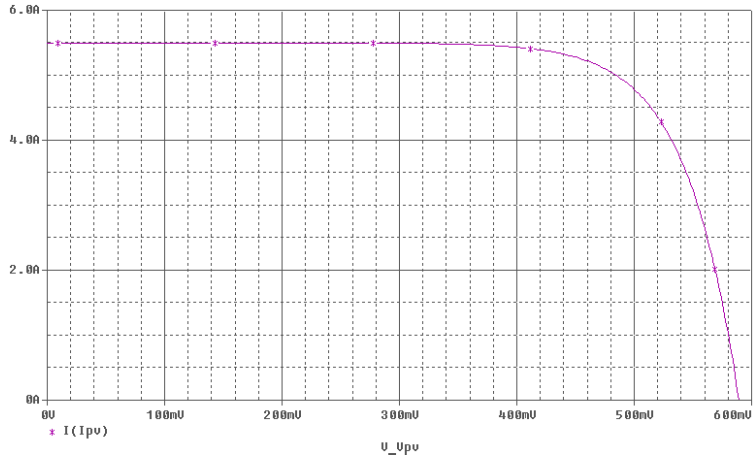


Рис. 4 Вольт-амперная характеристика солнечного элемента

Цель лабораторной работы:

1) Снять характеристику напряжения холостого хода фотогальванического элемента при различной степени интенсивности облучения.
2) Снять характеристику тока короткого замыкания фотогальванического элемента при различной степени интенсивности облучения.
3) Снять вольт - амперную характеристику фотогальванического элемента при различной степени интенсивности облучения.

Ход работы:

1. На рис. 5 представлена схема включения фотогальванического стенда для снятия характеристики холостого хода.

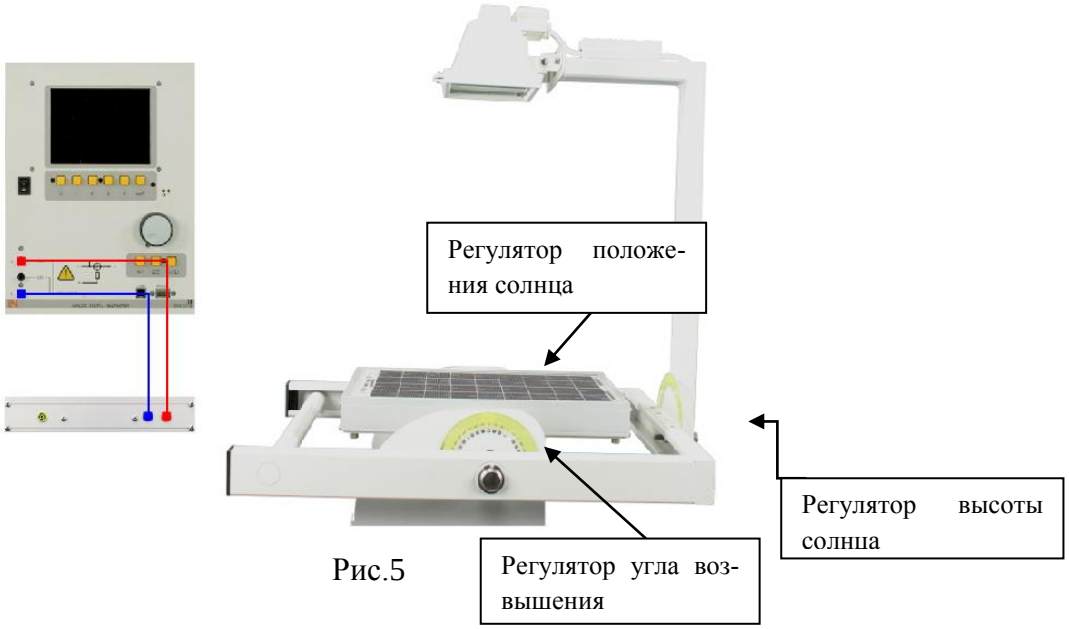


Рис.5

Соберите схему, представленную на рисунке 1, и перед ее включением покажите преподавателю. На регуляторе высоты солнца установите угол 0° и угол 0° установите на регуляторе, связывающем положение солнца (галогенный излучатель) и солнечную панель, и угол 90° для угла возвышения. Галогенный из-

лучатель должен находиться в положении вертикальном по отношению к солнечной панели.

Далее, после разрешения преподавателя, подключите аналогово-цифровой мультиметр к сети питания, *включите его* и выберите *режим измерения напряжения* (первая желтая кнопка).

У галогенного излучателя имеется регулятор интенсивности облучения рис.6, он имеет штриховки, с помощью которых можно легко фиксировать степень облучения, так как в работе необходимо снять данные при пяти разных положениях регулятора, его шкалу необходимо разделить на 4 положения (одно положение занимает 2 штриховки регулятора). Наименьшая интенсивность облучения соответствует положению регулятора 0/4, а наибольшая положению 4/4.

Необходимо, устанавливая различную интенсивность облучения и руководствуясь таблицей 1, измерить соответствующее напряжение холостого хода солнечнойпанели. Результаты измерений занесите в Таблицу1.



Рис.6

Таблица 1

Положение регулятора	Интенсивность облучения ($Вт/м^2$)	Напряжение х.х., (В)
	0	
0/4	100	
1/4	170	
2/4	240	
3/4	310	
4/4	380	

Постройте данную зависимость: напряжение холостого хода от интенсивности облучения.

Сделайте соответствующие выводы.

2. На рис. 7 представлена схема для измерения тока короткого замыкания. Соберите схему, представленную на рисунке 6, и перед ее включением покажите преподавателю. На регуляторе высоты солнца установите угол 0° и угол 0° установите на регуляторе, связывающем положение солнца (галогенный излучатель) и солнечную панель, и угол 90° для угла возвышения. Галогенный из-

лучатель должен находиться в положении вертикальном по отношению к солнечной панели.



Рис. 7

Далее, после разрешения преподавателя, включите мультиметр и выберите режим измерения тока (вторая желтая кнопка). Необходимо, устанавливая различную интенсивность облучения и руководствуясь таблицей 2, измерить соответствующий ток короткого замыкания солнечнойпанели. Результаты измерений занесите в таблицу 2.

Таблица 2

Положение регулятора	Интенсивность облучения, (Вт/м^2)	Ток к.з., (А)
	0	
0/4	100	
1/4	170	
2/4	240	
3/4	310	
4/4	380	

Постройте данную зависимость: ток короткого замыкания от интенсивности облучения. Сделайте соответствующие выводы. Выключите мультиметр.

3. На рис. 8 представлена схема для измерения тока и напряжения фотогальванического элемента при различной степени облучения и различной нагрузке. Соберите схему, представленную на рисунке 8, и перед ее включением покажите преподавателю. Обратите внимание, что мультиметр, в данном эксперименте подключается к компьютеру.

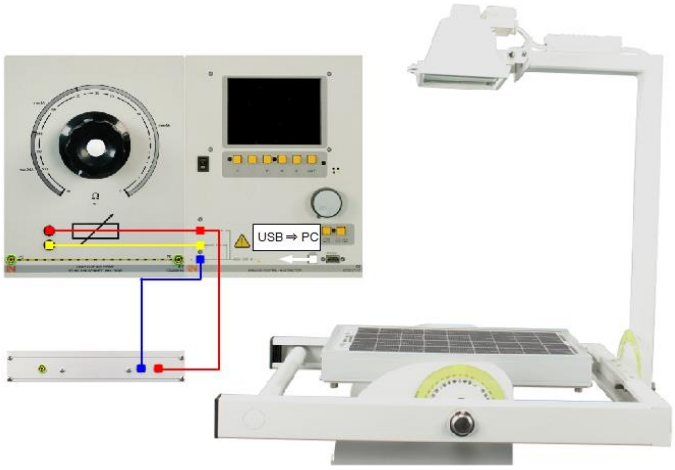


Рис.8

Далее, после разрешения преподавателя, включите мультиметр. На рабочем столе найдите программу Starter–откройте. Из предложенного списка выберете LUKAS-NULLE CO5127-1Z Multimeter. Запустите программу в режиме имитации. На панели задач найдите иконку этой программы (123) нажмите на нее, выберете раздел Приборы, а в ней выберете раздел X/YПлоттер (рис. 9)

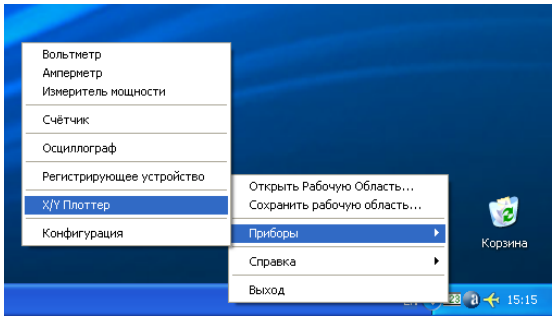


Рис.9

Появится окнопоказанное на рис. 10. По оси x (кнопка X-AXES)-выберете режим отображения действующего тока (Irms), по оси y (кнопка Y-AXES)-выберете режим отображения действующего значения напряжения (Urms).

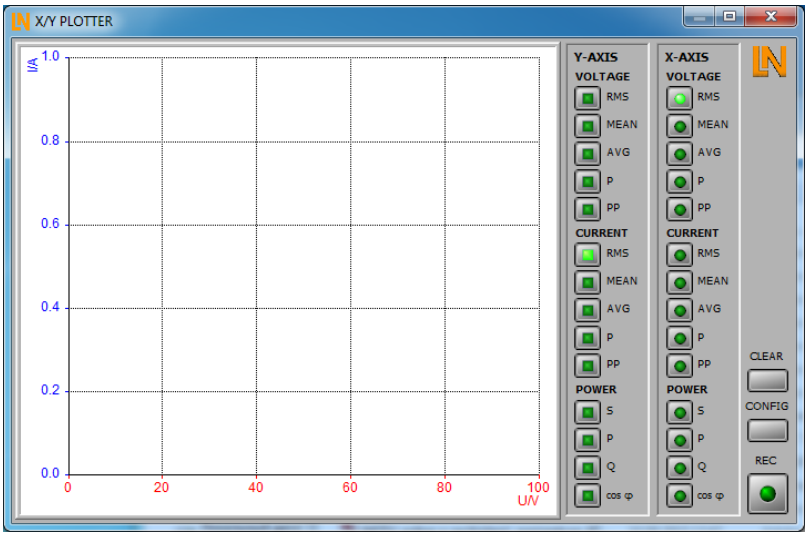


Рис.10

Далее в разделе конфигурация (кнопка CONFIG), выберете установки отображения выбранных параметров (рис.11). Интервал по напряжению (RANGE)=30 V, режим (MODE) AC-DC, интервал по току=1 A, режим AC-DC. Закроите Конфигурации, нажав на крестик.

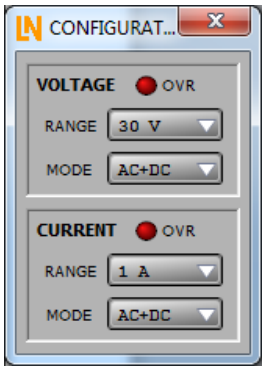


Рис.11

Далее кликните по рабочей области правой кнопкой мыши, появится контекстное меню, в нем выберете Свойства.

Появятся свойства отображения выбранных параметров, рис. 12. По напряжению, (в разделе Ось) установите следующие параметры: Максимум=20; Деление=2, по току (выберете в разделе Ось-Токи): Максимум=0,2; Деление=0,02. Закройте Свойства нажав на ОК.

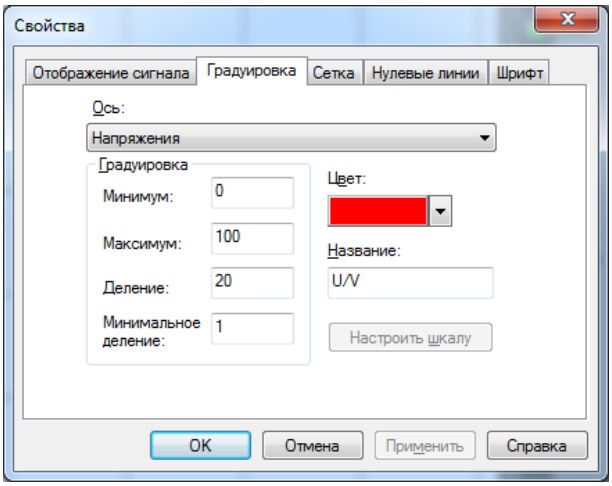


Рис.12

Для вычерчивания характеристики, выполните следующие шаги:

1. Установите интенсивность облучения 0/4.
2. Установите потенциометр на 0 Ω (короткое замыкание).
3. Запустите процесс вычерчивания характеристики UI, с помощью кнопки **REC**.
4. Медленно вращайте потенциометр, до получения максимального сопротивления.
5. Закончите регистрацию характеристики, нажав выключатель **REC**.
6. Повторите действия 1-5 для всех уровней освещенности.

Скопируйте полученный результат в отчет.

Сделайте соответствующие выводы.

Примечание: Для того чтобы сохранить файл в отчет нужно нажать на рабочую область правой кнопкой мыши и выбрать Экспорт. Для сохранения файла в виде изображения выбираем расширение bitmap рис. 13.

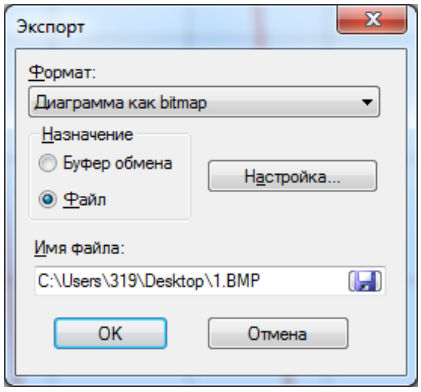


Рис. 13

Контрольные вопросы:

1. Какую зависимость имеет напряжение холостого хода от степени облучения.
2. Какую зависимость имеет ток короткого замыкания от степени облучения.
3. Поясните вид ВАХ при различной степени облучения и различном значении сопротивления нагрузки.
4. Как влияют внешние условия на ВАХ солнечной батареи?

Лабораторная работа №2

Снятие ВАХ и мощности

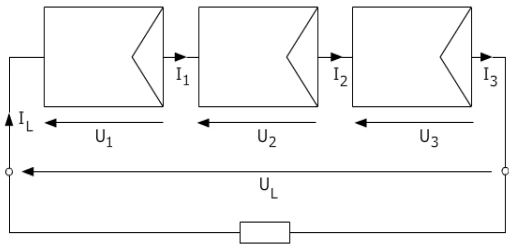
Схемы включения солнечных модулей

Меняя схему включения солнечных модулей, меняется и значение снимаемого напряжения и тока. Схемы включения могут представлять собой:

- последовательное включение
- параллельное включение
- смешанная схема включения

Последовательное включение солнечных модулей

Отдельные солнечные модули вырабатывают слишком маленькое напряжение, которого недостаточно для использования, поэтому для увеличения снимаемого напряжения солнечные модули соединяют последовательно. При последовательном включении, вырабатываемое отдельными модулями напряжение, суммируется. Последовательное включение солнечных модулей, называют ветвью (цепью), рис. 1. Но так как элементы или модули не являются абсолютно идентичными, величина суммарного напряжения ориентирована на наихудший элемент или модуль. Этот эффект называется рассогласованием.



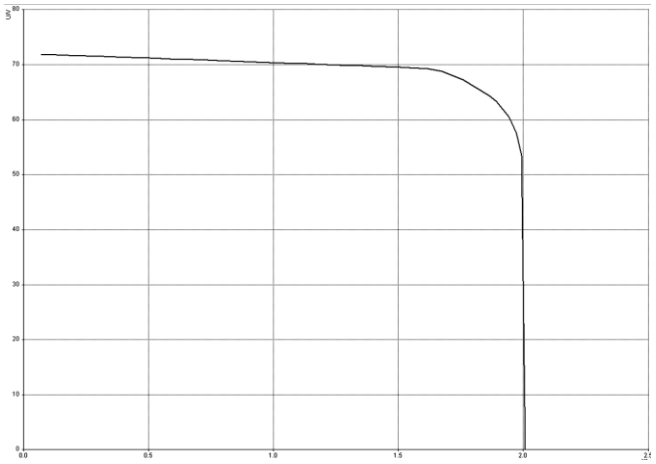
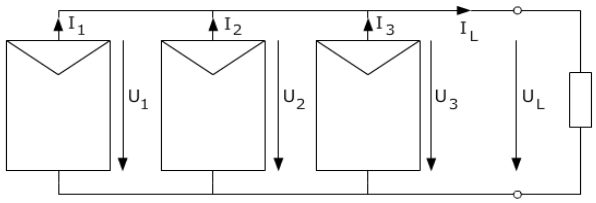


Рис.1

Параллельное включение солнечных модулей

При параллельном соединении солнечных модулей токи отдельных солнечных элементов суммируются, рис. 2. В схемах параллельного соединения следует использовать элементы или модули одинаковой конструкции. В солнечных модулях разной конструкции могут течь такие уравнительные токи, которые могут разрушить отдельные модули.



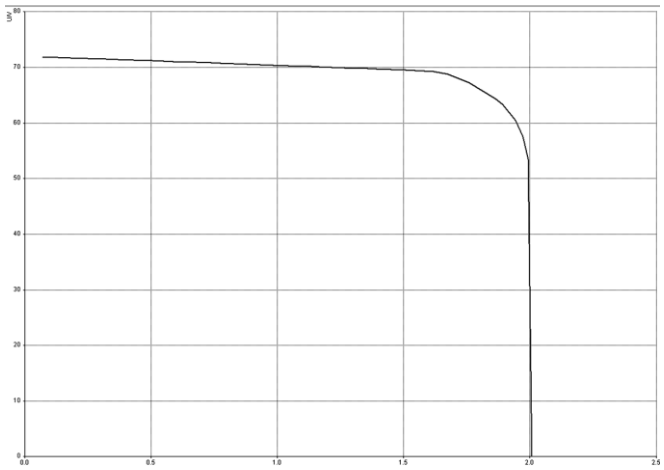


Рис. 2

Цель лабораторной работы:

1) Снять ВАХ при последовательном включении солнечных модулей.
2) Снять ВАХ при параллельном включении солнечных модулей.
3) Снять ВАХ и мощность для единичного модуля, для двух последовательно включенных модулей и двух параллельно включенных модулей.

Ход работы:

1) Соберите схему, приведенную на рисунке 3. Перед ее включением покажите преподавателю.

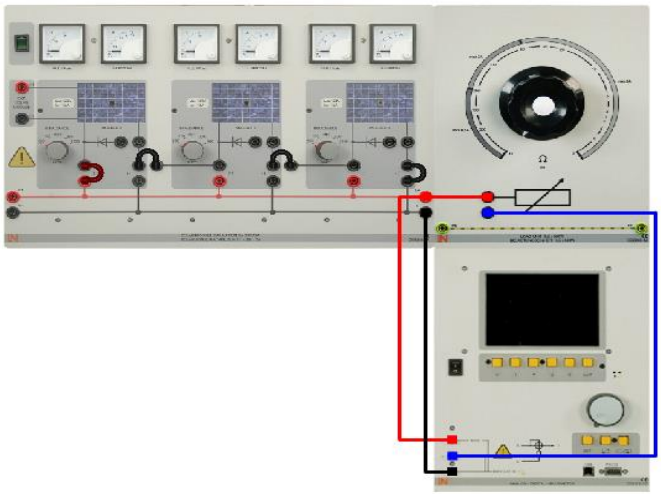


Рис. 3

Установите интенсивность облучения всех макетов солнечных модулей на 1000 Вт/м^2.

С помощью Плоттера постройте ВАХ (по оси Y-отображается напряжение, по оси X-ток), установите следующие параметры:

- По напряжению: максимум=80; деление=10
- По току: максимум=2,5; деление=0,5

Параметры конфигурации: напряжение=300, ток=10, режим: AC-DC.
Скопируйте результат в отчет. Сделайте выводы.

2) Соберите схему, приведенную на рисунке 4. Перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечных модулей на 1000 Вт/м^2.

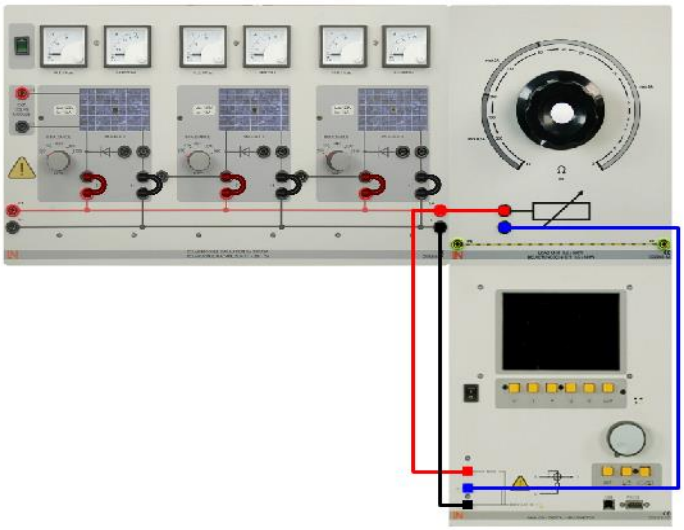


Рис. 4

С помощью Плоттера постройте ВАХ (по оси Y-отображается напряжение, по оси X-ток), установите следующие параметры:

- По напряжению: максимум=25; деление=5

- По току: максимум=8; деление=1

Параметры конфигурации: напряжение=30, ток=10, режим: AC-DC.

Скопируйте график в отчет.

3) Соберите схему, приведенную на рисунке 5. Перед ее включением покажите преподавателю.

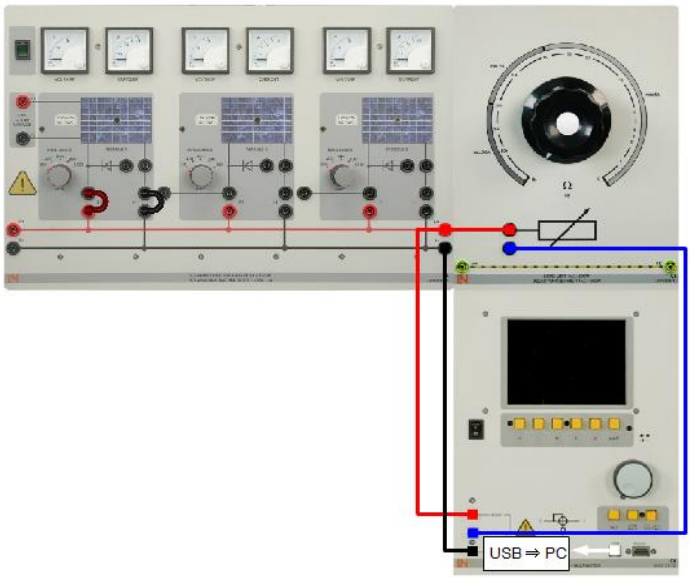


Рис. 5

С помощью Плоттера постройте ВАХ и характеристику мощности (по оси Y-отображается напряжение и мощность, по оси X-ток), установите следующие параметры:

- По напряжению: максимум=30, деление=5
- По току: максимум=2.5, деление=0.5
- По мощности: максимум=50, деление=5

Параметры конфигурации: напряжение=300, ток=10, режим: AC-DC.

4) Соберите схему, приведенную на рисунке 6. Перед ее включением покажите преподавателю.

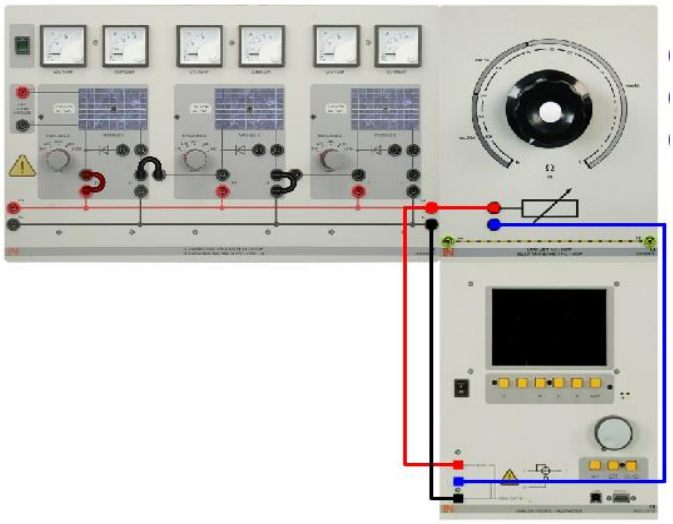


Рис. 6

С помощью Плоттера постройте ВАХ и характеристику мощности Установки те же что и в предыдущем эксперименте.

5) Соберите схему, приведенную на рисунке 7. Перед ее включением покажите преподавателю.

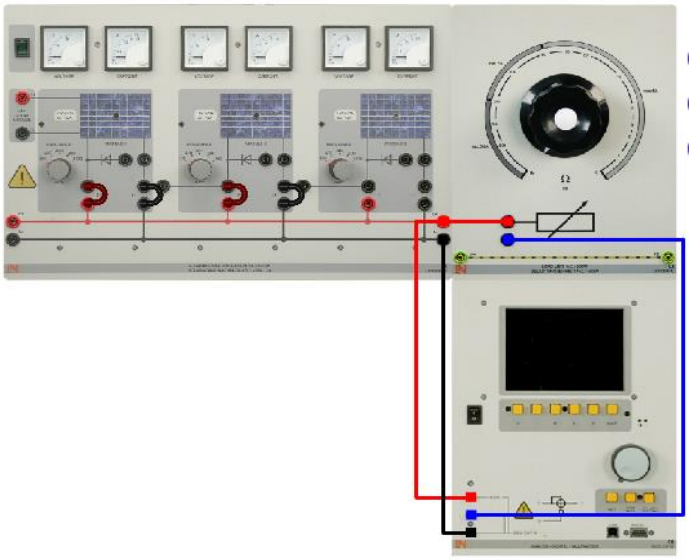


Рис. 7

С помощью Плоттера постройте ВАХ и характеристику мощности Установки те же что и в предыдущем эксперименте.
Результат скопируйте в отчет.
Сделайте соответствующие выводы.

Вопросы:

1) Как определяется напряжение при последовательном соединении солнечных модулей?
2) Ток солнечных модулей при последовательном включении определяется наименьшей или наибольшей величиной тока?
3) Как определяется ток при параллельном соединении солнечных модулей?
4) Как определяется напряжение при параллельном соединении солнечных модулей?

Лабораторная работа №3

Затемнение

Эффект горячих точек

Возникновение эффекта горячих точек

Затемнения снижают количество получаемой от фотогальванических элементов энергии, поэтому необходимо оптимально спланировать конструкцию всей установки для того, чтобы минимизировать последствия влияния затемнения. Также по движению солнца можно точно рассчитать перемещение тени.

Временное затемнение

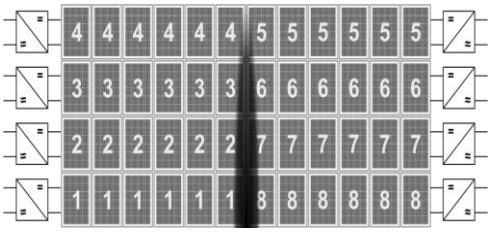
Под временным затемнением фотогальванических элементов понимают затемнение вследствие снегопада, листопада, загрязнения птичьим помётом или присутствием других загрязнений. Как правило, дождь смывает подобные виды грязи с солнечных элементов. Для эффективного действия такой самоотчистки, солнечный модуль должен иметь наклон не менее 15°. Больший угол наклона усиливает эффект самоотчистки. Следует не забывать о том, чтобы дождевая вода имела возможность полностью стекать, чтобы не мешала окантовка рамы или элементы системы крепления, так как в противном случае образуется периферийное загрязнение, которое в последствие ведёт к сильному загрязнению.

Продолжительное затемнение

Сильное загрязнение и, как следствие, продолжительное затемнение, фотогальванических элементов может происходить вследствие воздействия окружающей среды. Здания, деревья или другие объекты, расположенные недалеко от солнечного генератора, могут затемнять его. Печные трубы, выступы и детали архитектуры на крыше, на которых может быть смонтирован солнечный генератор, также могут отбрасывать на него тень.
На рис.1 представлен пример конструкции солнечного модуля.

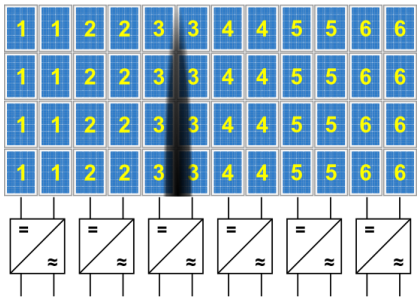
В течение дня тень перемещается по всему полю солнечного генератора.

не правильно



При вышеуказанной схеме расположения, затемнение будет затрагивать всё большее количество цепочек. В самом худшем случае, когда тень располагается в самом центре солнечного генератора, тенью затронет все цепочки.

правильно



Такая расстановка требует не только меньшее количество инвертеров, но и обеспечивает затемнение максимум двух цепочек.

Рис.1

Если затенена вся поверхность фотогальванического модуля, то снижается только мощность модуля,других изменений к худшему не происходит. С другой стороны, при частичном затемнении, эффект выглядит так, как если бы,

например, был бы затемнён лишь один фотогальванический элемент модуля.Используя упрощённую эквивалентную схему фотогальванического элемента, можно легко объяснить суть проблемы (рис.2). Эквивалентная схема элемента состоит из схемы с параллельно включенными источником тока и диодами.

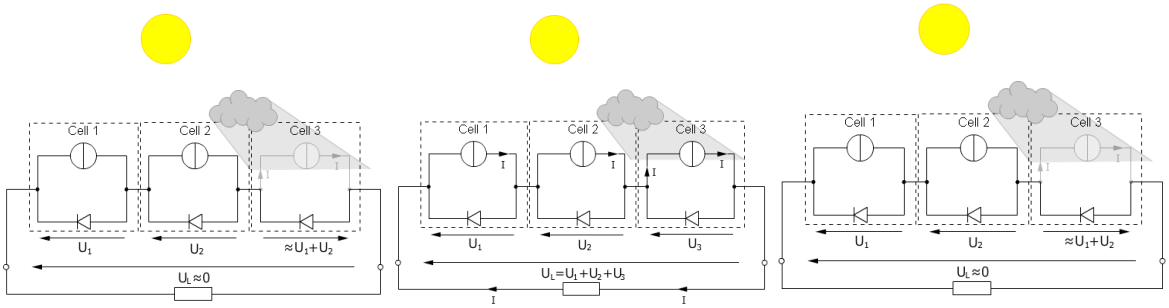


Рис.2

Использование байпасных диодов.

Защитой от проявления эффекта горячих точек служат, байпасные диоды, включаемые в схему встречнопараллельно фотогальваническим элементам (рис.3). Если ветвь фотогальванического элемента выключена, то на ней отсутствует напряжение, следовательно, общее напряжение ветви также уменьшается, но поток тока, идущий через байпасный диод, сохраняется.Так как на фотогальваническом элементе отсутствует мощность, то он не нагревается и не подвергается разрушению.Практическое воплощение этой защиты в модулях, происходит немного по-другому, байпасный диод подключается параллельно не к каждому фотогальваническому элементу, а к нескольким фотогальваническим элементам, или сразу к целой ветви. Недостатком такого подключения является то, что в случае наличия одного выключенного элемента, сразу отключаются несколько фотогальванических элементов или даже вся ветвь. Это необходимо иметь в виду, при расчёте параметров фотогальванической установки.

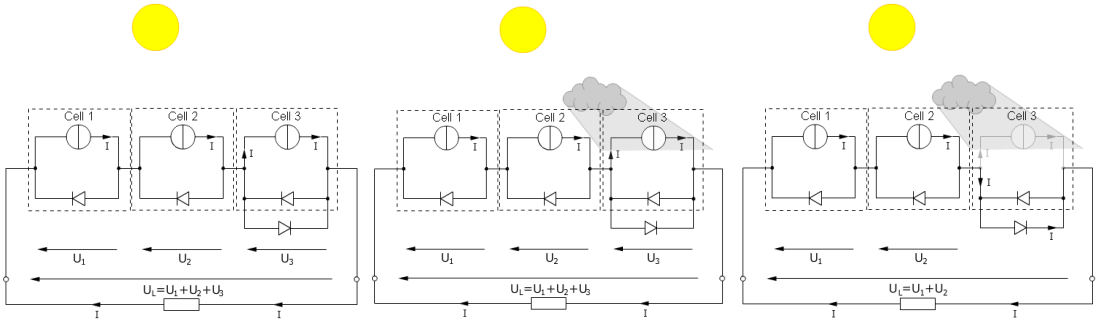


Рис.3

Цель лабораторной работы:

1) Измерить ток и напряжение при последовательном соединении солнечных модулей, при изменении интенсивности облучения (затемнении второго макета солнечного модуля).

2) Снять ВАХ и мощностную при последовательном соединении солнечных модулей, при изменении величины потенциометра, при незатемненных солнечных модулях и затемненном солнечном модуле.

3) Снять ВАХ и мощностную при последовательном соединении солнечных модулей и с включенными байпасными диодами, при изменении величины потенциометра и при незатемненных солнечных модулях и затемненном солнечном модуле.

4) Снять ВАХ и мощностную при параллельном соединении солнечных модулей, при изменении величины потенциометра, при незатемненных солнечных модулях и затемненном солнечном модуле.

5) Снять ВАХ и мощностную при параллельном соединении солнечных модулей и с включенными байпасными диодами, при изменении величины потенциометра и при незатемненных солнечных модулях и затемненном солнечном модуле.

Ход работы:

1) Соберите схему, представленную на рисунке 4, и перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечного модуля равным 1000 Вт/м^2. Потенциометр установите на величину 50 Ом. Далее, после разрешения преподавателя, включите мультиметр и выберите режим измерения напряжения и тока (первая желтая кнопка и вторая соответственно). Снимите значение тока и напряжение незатемненных солнечных модулей, затем сделайте интенсивность облучения второго макета солнечного модуля равным 200 Вт/м^2 и снимите снова значение тока и напряжения с мультиметра и с аналоговых приборов макетов солнечных модулей.

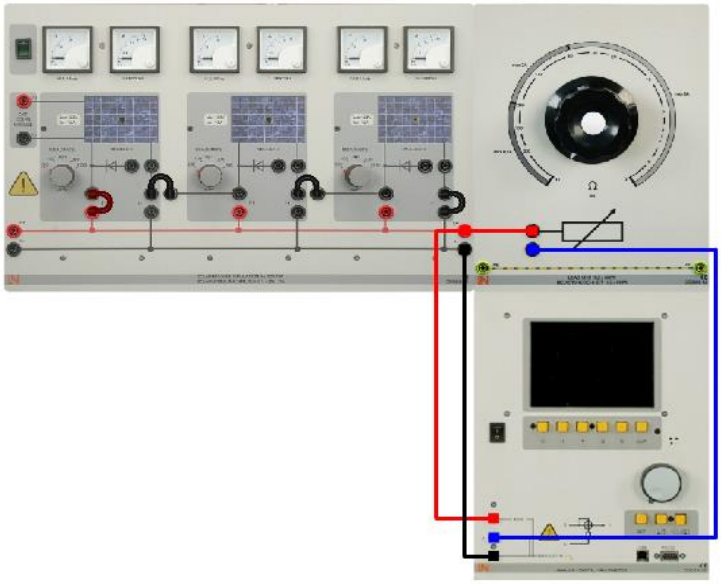


Рис.4

$I_{незатененный}$=__A

$U_{незатененный}$=__B

$I_{затененный}$=__A

$U_{затененный}$=__B

Подключите к солнечным модулям байпасные диоды и повторите измерения. Сделайте соответствующие выводы.

2) Соберите схему, представленную на рисунке 5, и перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечного модуля равным 1000 Вт/м^2. Потенциометр установите на величину 0 Ом. Далее, после разрешения преподавателя, подключите аналогово-цифровой мультиметр к компьютеру и включите его.

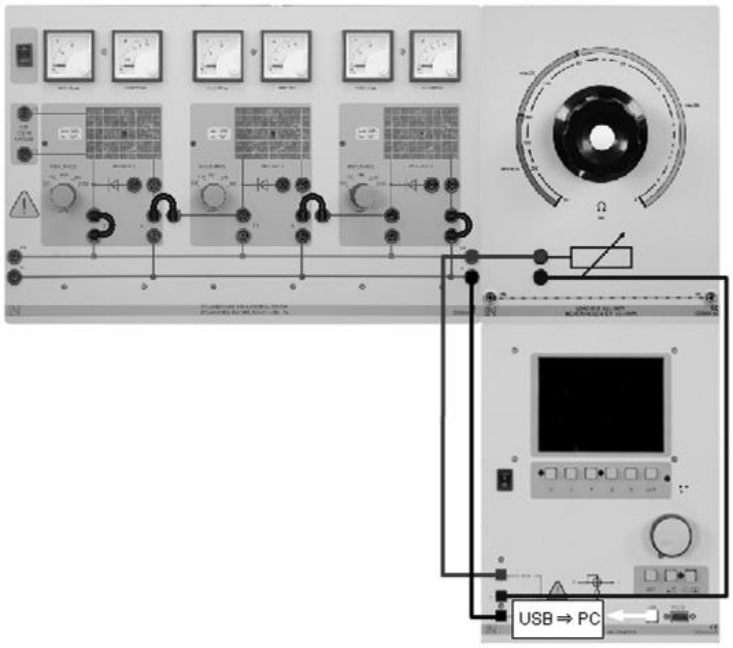


Рис.5

С помощью Плоттера постройте ВАХ и характеристику мощности (по оси Y-отображается напряжение и мощность, по оси X-ток), установите следующие параметры:

Параметры конфигурации: напряжение=300, ток=10, режим: AC-DC.

- По напряжению: максимум=80; деление=10
- По току: максимум=2,5; деление=0,5
- По мощности: максимум=125; деление=20

(параметры актуальны и при подключении байпасных диодов)

Для получения характеристики придерживайтесь следующих шагов:

1. Установите потенциометр на 0Ω (короткое замыкание).
2. Запустите регистрацию с помощью кнопки REC.
3. Медленно повышайте величину сопротивления потенциометра до максимума.
4. Остановите регистрацию характеристики с помощью кнопки REC.

Уменьшите интенсивность облучения второго макета солнечного модуля с 1000 Вт/м^2 до 200 Вт/м^2 и заново снимите характеристики.

Скопируйте полученные графики в отчет.

Сделайте соответствующие выводы.

3) Соберите схему,представленную на рисунке 6, и перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечного модуля равным 1000 Вт/м^2. Потенциометр установите на величину 0 Ом. Далее, после разрешения преподавателя, подключите аналогово-цифровой мультиметр к сети питания, подключите его к компьютеру.

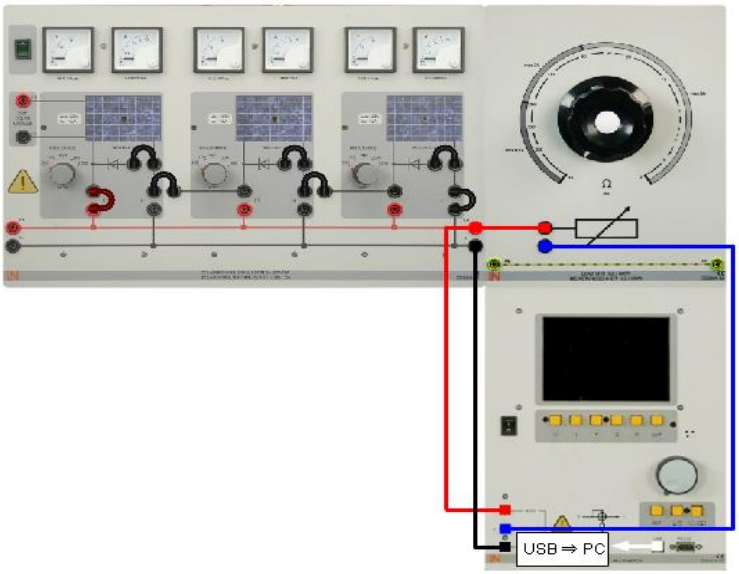


Рис.6

С помощью Плоттера постройте ВАХ и характеристику мощности.
Для получения характеристики придерживайтесь следующих шагов:

1.Установите потенциометр на 0Ω (короткое замыкание).
2.Запустите регистрацию с помощью кнопки REC.
3.Медленно повышайте величину сопротивления потенциометра до максимума.
4.Остановите регистрацию характеристики с помощью кнопки REC.

Уменьшите интенсивность облучения второго макета солнечного модуля с 1000 Вт/м^2 до 200 Вт/м^2 и заново снимите характеристики.

Скопируйте полученные графики в отчет.
Сделайте соответствующие выводы.

4) Соберите схему,представленную на рисунке 7, и перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечного модуля равным 1000 Вт/м^2. Потенциометр установите на величину 0 Ом. Далее, после разрешения преподавателя, подключите аналогово-цифровой мультиметр к сети питания, подключите его к компьютеру.

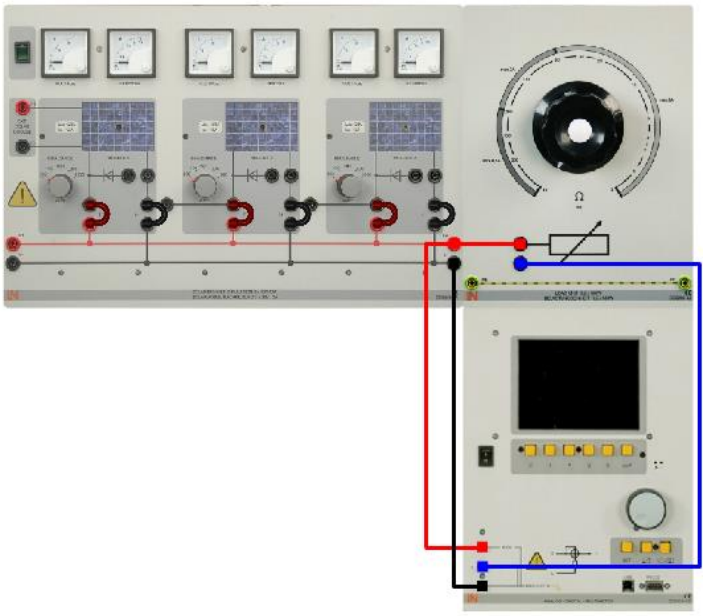


Рис.7

С помощью Плоттера постройте ВАХ и характеристику мощности (по оси Y-отображается напряжение и мощность, по оси X-ток), установите следующие параметры:

- По напряжению: максимум=30; деление=5
- По току: максимум=8; деление=1
- По мощности: максимум=120; деление=20

Параметры конфигурации: напряжение=30, ток=10, режим: AC-DC.
(параметры актуальны и при подключении байпасных диодов)

Для получения характеристики придерживайтесь следующих шагов:

1.Установите потенциометр на 0Ω (короткое замыкание).

2.Запустите регистрацию с помощью кнопки REC.

3.Медленно повышайте величину сопротивления потенциометра до максимума.

4.Остановите регистрацию характеристики с помощью кнопки REC.

Уменьшите интенсивность облучения второго макета солнечного модуля с 1000 Вт/м^2 до 200 Вт/м^2 и заново снимите характеристики.

Скопируйте полученные графики в отчет.

Сделайте соответствующие выводы.

5)Соберите схему,представленную на рисунке 8, и перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечного модуля равным 1000 Вт/м^2. Потенциометр установите на величину 0 Ом. Далее, после разрешения преподавателя, подключите аналогово-цифровой мультиметр к сети питания, подключите его к компьютеру.

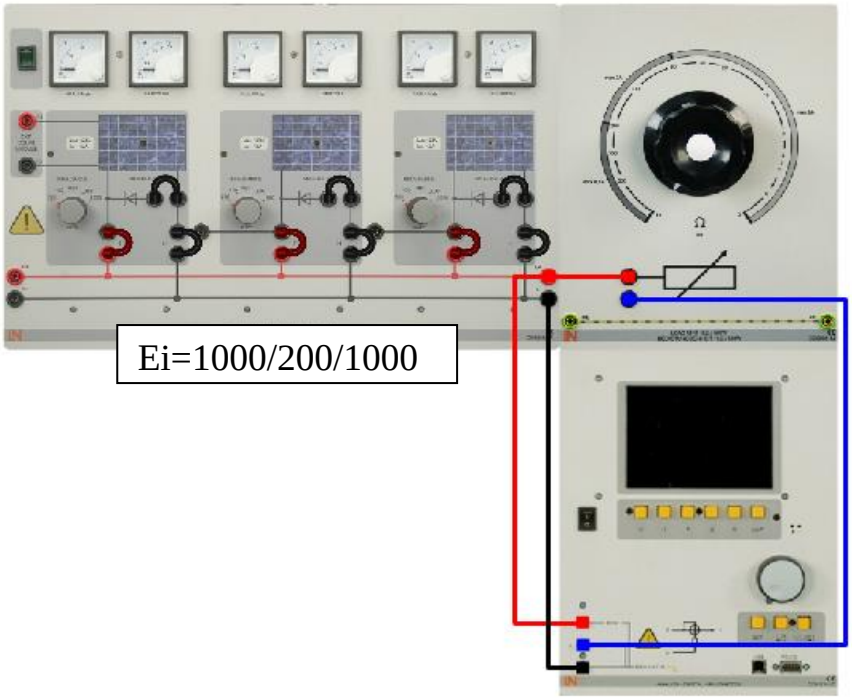


Рис.8

С помощью Плоттера постройте ВАХ и характеристику мощности.
Для получения характеристики придерживайтесь следующих шагов:

1. Установите потенциометр на 0Ω (короткое замыкание).
2. Запустите регистрацию с помощью кнопки REC.
3. Медленно повышайте величину сопротивления потенциометра до максимума.
4. Остановите регистрацию характеристики с помощью кнопки REC.

Уменьшите интенсивность облучения второго макета солнечного модуля с 1000 Вт/м^2 до 200 Вт/м^2 и заново снимите характеристики.
Скопируйте полученные графики в отчет. Сделайте соответствующие выводы.

Вопросы:

1) Что происходит в случае затемнение одного из макетов солнечного модуля?
2) Какое воздействие оказывает затемнение солнечного элемента на солнечный модуль?
3) Какое влияние оказывает байпасный диод?
4) В каком случае схема последовательного соединения солнечных модулей вырабатывает наибольшую мощность?
5) Что происходит с мощностью в случае затемнения солнечного модуля?
6) Что происходит с мощностью в случае подключения байпасных диодов в схеме параллельного соединения солнечных модулей?

Лабораторная работа №4

Изолированный локальный инвертор.

Энергетический поток в локальной установке.

Питание сети. Питание сети с собственным потребителем.

Коэффициент заполнения

Коэффициент заполнения, который обычно обозначается "FF", - это параметр, который в сочетании с V_{xx} и $I_{кз}$ определяет максимальную мощность СЭ. FF определяется, как отношение максимальной мощности СЭ к произведению V_{xx} и $I_{кз}$. Графически FF представляет собой меру квадратичности СЭ и равен максимальной площади прямоугольника, который можно вписать в вольт-амперную кривую. На рис.1 показан FF.

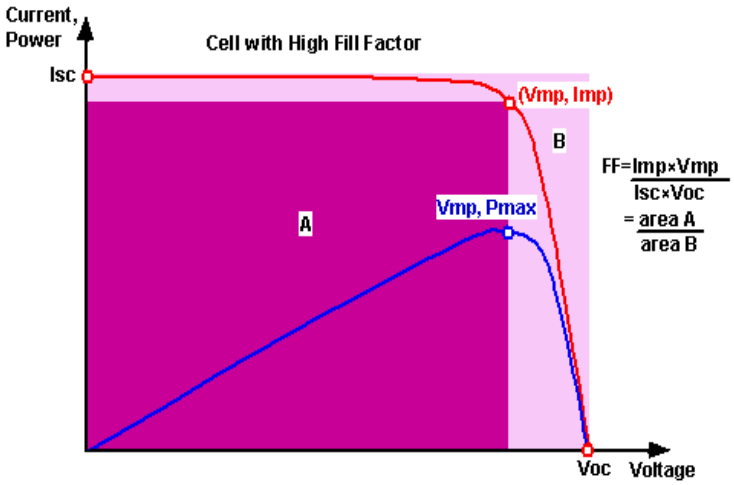


Рис.1

$$FF = \frac{I_m \cdot U_m}{I_{кз} \cdot U_{xx}} = \frac{S_A}{S_B}$$

КПД определяется как отношение мощности, вырабатываемой СЭ, к мощности падающего солнечного излучения.

$$P_{max} = V_{xx} \cdot I_{кз} \cdot FF$$

$$\eta = \frac{V_{xx} \cdot I_{кз} \cdot FF}{P_{вх}}$$

Мощность, которую может отдавать фотогальванический элемент или модуль, зависит не только от интенсивности облучения, но и от того, насколько "правильно" согласован с ним "потребитель". Рабочая точка холостого хода с I = 0 мА и рабочая точка короткого замыкания с U = 0 В, согласно формуле $P = U \cdot I$, позволяют вычислить отдаваемую мощность P = 0 Вт. Между этими двумя рабочими точками, произведение $P = U \cdot I$ имеет максимальное значение. Рабочая точка с этим значением называется **точкой максимальной мощности (MaximumPowerPoint - MPP).**

Максимальная мощность P_{MPP}, которую может отдавать фотогальванический элемент при включённом в сеть потребителе, всегда меньше, чем результат произведения тока короткого замыкания на напряжение холостого хода. На рис.2 представлена ВАХ и мощностная характеристика.

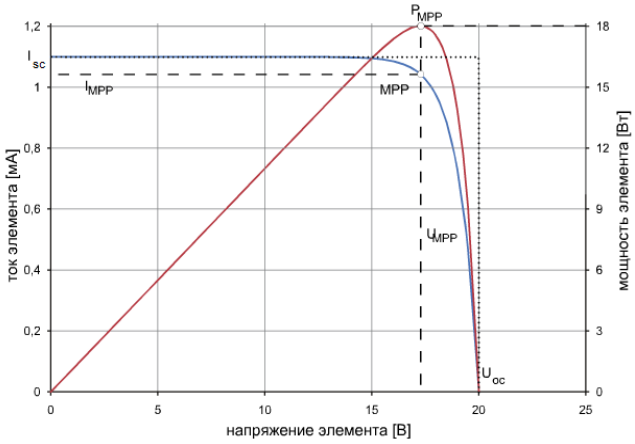


Рис.2

Температурная зависимость точки максимальной мощности

Когда фотогальванический элемент или модуль находится под воздействием сильного облучения, то модуль нагревается, а температура элементов должна составлять не более 25°C, как это определено условиями стандартного теста.

Температурные зависимости в точке оптимальной мощности показаны на рис.3.Из рисунка следует, что для обеспечения оптимальной работы модуля егоследует максимально охлаждать!

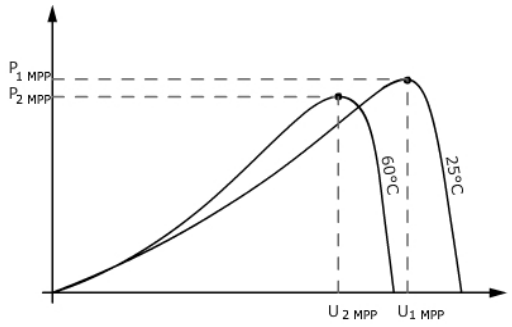


Рис.3

Цель лабораторной работы:

1)Снять напряжение и ток на входе инвертора.

2)Снять напряжение и ток на выходе инвертора .

3) Рассчитать мощность на входе и на выходе инвертора, и вычислить КПД инвертора.

4)Измерить ток солнечного модуля, нагрузки и аккумулятора при различной степени интенсивности облучения, в качестве потребителя используется галогенная лампа.

5) Измерить ток светодиодной лампы.

5) Измерить мощность и напряжение с помощью счетчика энергии.
6) Имитировать обрыв сети питания и измерить напряжение, мощность с помощью счетчика энергии.
7) Измерить мощность, потребляемую различными типами ламп с помощью счетчика энергии.

Ход работы:

1) На рис.4 представлена схема для измерения напряжения и тока на входе инвертора.

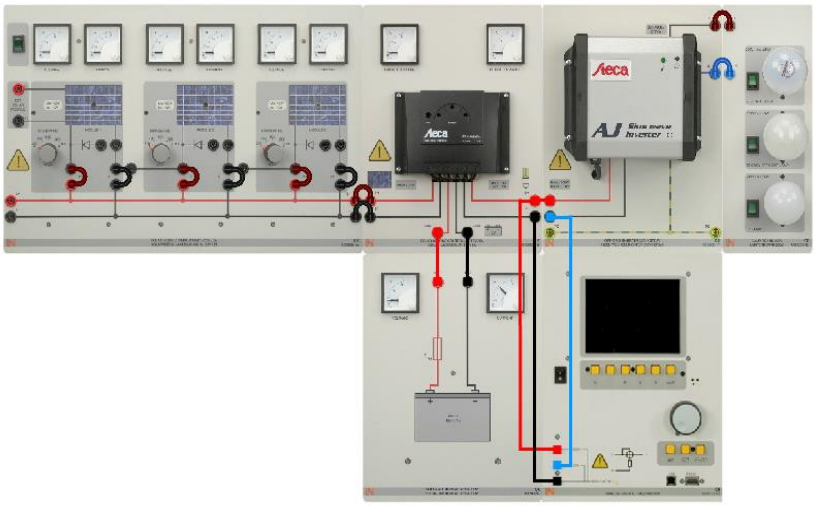


Рис.4

Соберите схему,представленную на рисунке 1, и перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечного модуля равным 200 Вт/м^2. Далее, после разрешения преподавателя, подключите аналогово-цифровой мультиметр к сети питания, включите его и выберите режим измерения напряжения и тока (первая желтая кнопка и вторая). Включите лампу накаливания (верхняя лампа) на панели ламп и измерьте ток и напряжение на входе инвертора.

$$U_{DC} = __ \ B$$
$$I_{DC} = __ \ A$$

2) На рисунке 5 представлена схема для измерения тока и напряжения на выходе инвертора.

Соберите схему,представленную на рисунке 5, и перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечного модуля равным 200 Вт/м^2. Далее, после разрешения преподавателя, подключите аналогово-цифровой мультиметр к сети питания, включите его и выберите режим измерения напряжения и тока (первая желтая кнопка и вторая). Включите лампу накаливания (верхняя лампа) на панели ламп и измерьте ток и напряжение на выходе инвертора.

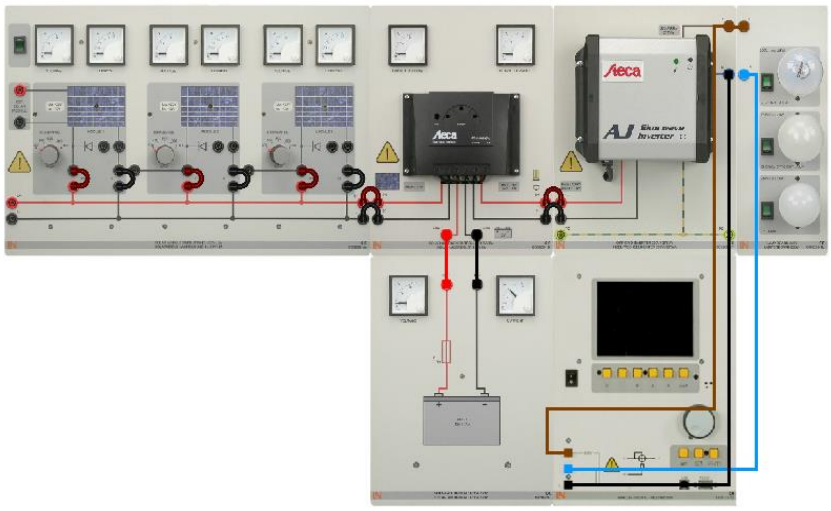


Рис.5

$$U_{AC} = __ \ B$$
$$I_{AC} = __ \ мА$$

3) Рассчитайте мощность на входе и на выходе инвертора, и КПД инвертора.

$$P_{DC} = __ \ Вт$$
$$P_{AC} = __ \ Вт$$
$$\eta = _\%$$

4) На рис.6 представлена схема для измерения тока.

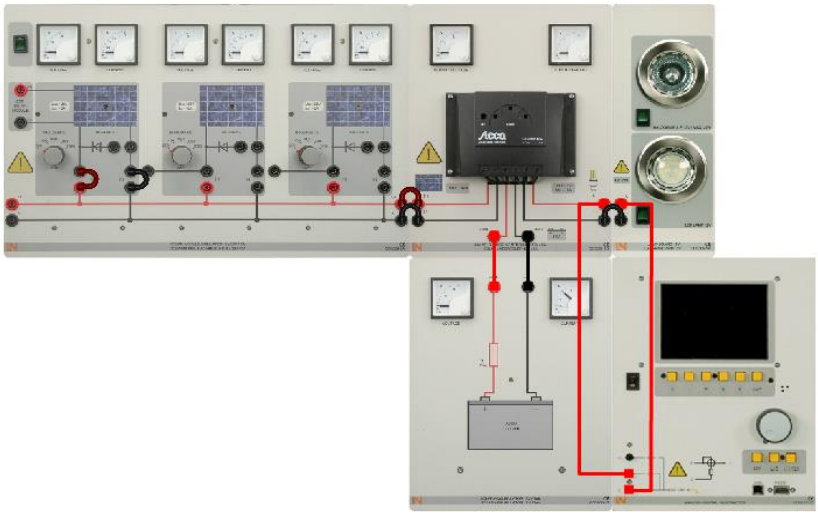


Рис.6

Соберите схему,представленную на рисунке6, при сборке обратите внимание на то, что в первую очередь, аккумулятор должен быть подключен к регулятору зарядки, и перед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения первого макета солнечного модуля равным 800 Вт/м^2. Далее, после разрешения преподавателя, подключите аналогово-цифровой мультиметр к сети питания, включите его и выберите режим измерения тока (вторая желтая кнопка). Включите галогенную лампу на панели ламп и

измерьте ток макета солнечного модуля, нагрузки и аккумулятора (значения снимайте со встроенных дисплеев измерительных приборов). Установите интенсивность облучения равную 600Вт/м^2 повторите измерения, сделайте интенсивность облучения равной 1000 Вт/^{2} и повторите измерения.

$$I_{макета\ солнечного\ модуля} = _\ A$$

$$I_{нагрузки} = __ A$$

$$I_{аккумулятора} = __ A$$

5)Выключите галогенную лампу и включите светодиодную. Измерьте ток светодиодной лампы.

$$I_{LFD} = ___ мА$$

Сравните между собой величины токов обоих ламп.

6) На рис. 7 представлена схема для измерения напряжения и мощности.

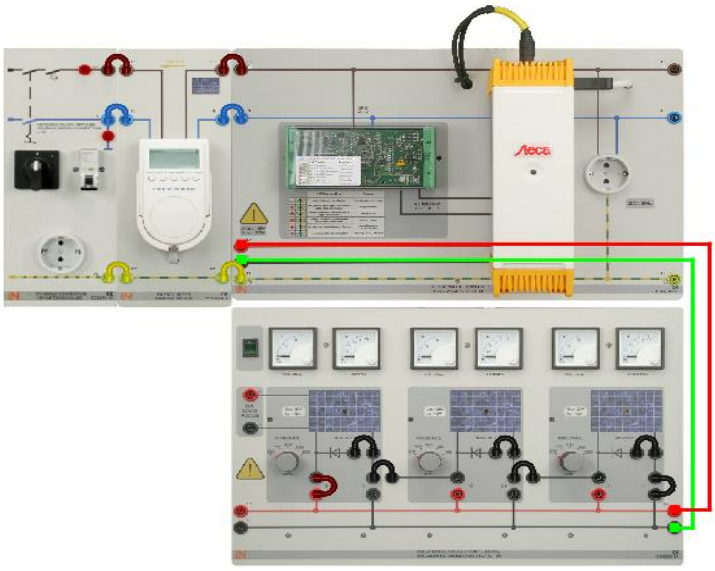


Рис. 7

Соберите схему,представленную на рисунке7, при сборке обратите внимание если при присоединении однофазного сетевого модуля (CO3211-1A), между нулевым проводом и землей загорается красный свет, то необходимо поменять местами фазу и нулевой провод. При этом переключатель сетевого инвертора находится в положении 0. Убедитесь, что линейный защитный автомат включен. Иперед ее включением покажите преподавателю. Установите интенсивность облучения всех макетов солнечного модуля равной 1000 Вт/м^2. Далее, после разрешения преподавателя, переведите переключатель сетевого инвертора в положение 1. Проведите измерение мощности и напряжения с помощью счетчика энергии.

$$U = ___ B$$

$$P = ___ Вт$$

7) Имитируйте выход из строя сети питания, переведя переключатель сетевого инвертора в положение 0. Измерьте напряжение и мощность с помощью счетчика энергии.

$$U = __ \ B$$
$$P = __ \ Bm$$

8) Соберите схему, представленную на рис.8

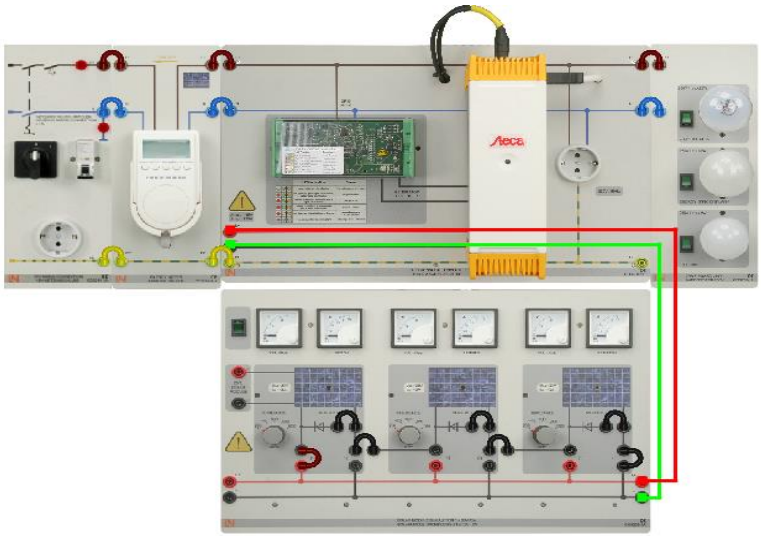


Рис. 8

Установите интенсивность облучения всех макетов солнечных модулей равным 1000 Вт/м^2. Переведите переключатель сетевого инвертора в положение 1. Измерьте напряжение и мощность поступающую в сеть.

$$U = __ \ B$$
$$P = __ \ Bm$$

Одну за другой включайте по отдельности лампы (в качестве потребителей), и измерьте мощность питающую сеть.

$$P_{лампы\ накаливания} = __ \ B$$
$$P_{энергосберегающей\ лампы} = __ \ Bm$$
$$P_{светодиодной\ лампы} = __ \ B$$

Вопросы:

1) Как ведёт себя питающая мощность по отношению к подключенному потребителю?
2) С помощью, лампы какого вида возможна максимальная экономия энергии?
3) Как ведёт себя энергия в сети питания при различной интенсивности облучения?
4) Что вы наблюдаете при обрыве сети?
5) В чём заключается причина такого поведения фотогальванического элемента при обрыве сети?

Лабораторная работа №5

Получение годовой и дневной характеристики солнечного излучения.

В настоящее время величайшим неисчерпаемым источником энергии для человечества, является солнце, отдающее свою энергию в виде солнечного излучения. На земле, почти вся получаемая в виде излучения солнечная энергия, превращается в тепло. С помощью фотогальванических установок можно непосредственно использовать или аккумулировать эту энергию.

Движение солнца

Несмотря на то, что солнце имеет фиксированное положение во вселенной, наблюдателю, находящемуся на земле, кажется, что оно движется по небу. Эта иллюзия движения вызвана вращением земли. Следствием такого "движения" солнца является то, что угол падения света на точку наблюдения постоянно изменяется. Точное положение солнца на небе зависит от многих факторов, таких, как точка наблюдения, время года и время суток.

Интенсивность облучения, т.е. количество энергии, попадающее на поверхность, зависит от положения солнца. Только когда солнечные лучи падают на поверхность под прямым углом, то полученная в этом случае энергия соответствует отданной (отражённой). Как только угол падения изменяется, то интенсивность облучения поверхности уменьшается.

Для более точного определения положения солнца, требуются данные широты и долготы места наблюдения, времени дня и времени года. Более точные определения будут даны далее, по мере изучения курса.

Цель лабораторной работы:

1) Снять годовую характеристику солнечного излучения.
2) Снять дневную характеристику солнечного излучения в декабре и в июле.

Ход работы:

1. Соберите схему представленную на рис. 1.



Рис. 1.

Возьмём данные об интенсивности солнечного обучения для места положения компании города Новосибирск.

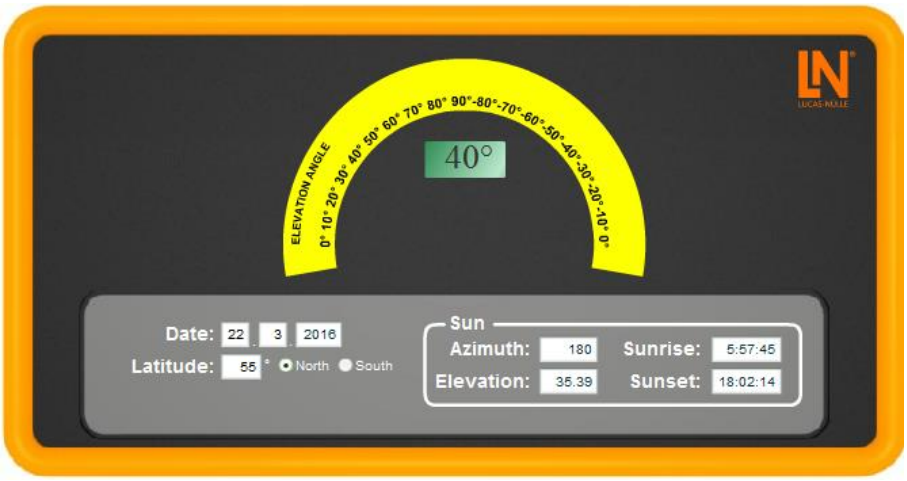
55° 2’ 29" (55° 2’ 48) северной широты

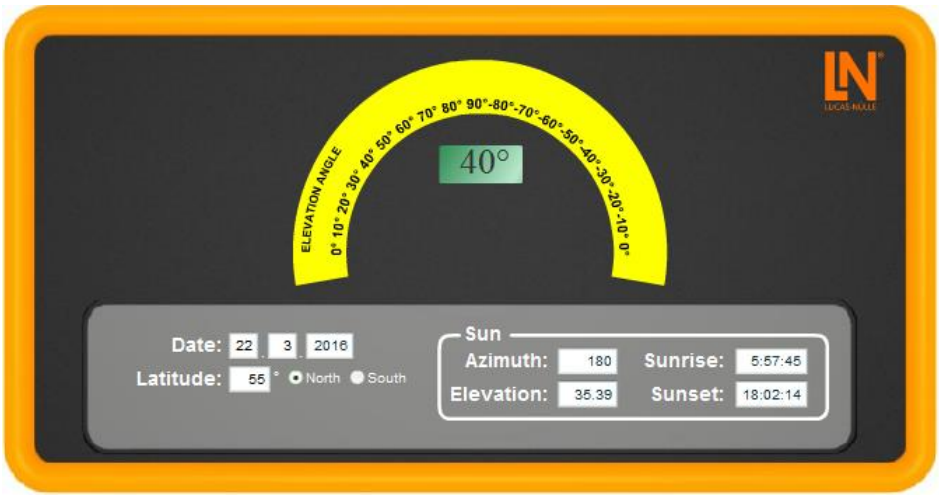
В каждом месяце 22 числа в 12.00 часов солнечного времени это время измеряется и в дальнейшим служит показателем для всего месяца. Безусловно, этот принцип работы очень непрактичен и служит лишь для упрощения получения характеристик.

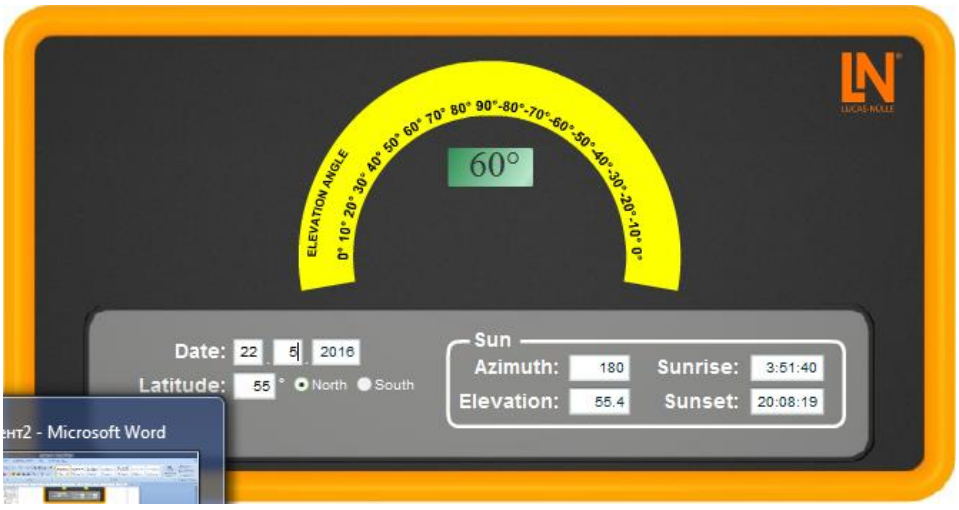
Для солнечного угла и угла панели, установите угол = 0°, величину угла возвышения установите согласно рассчитанному значению угла. Измерьте величину тока короткого замыкания. Используйте лампу максимальной яркости. Перенесите полученные данные измерений в таблицу. Повторите измерения для всех месяцев, при этом обязательно придерживайтесь 22 числа. После того, как вы проведёте все измерения, постройте диаграмму по полученным значениям.

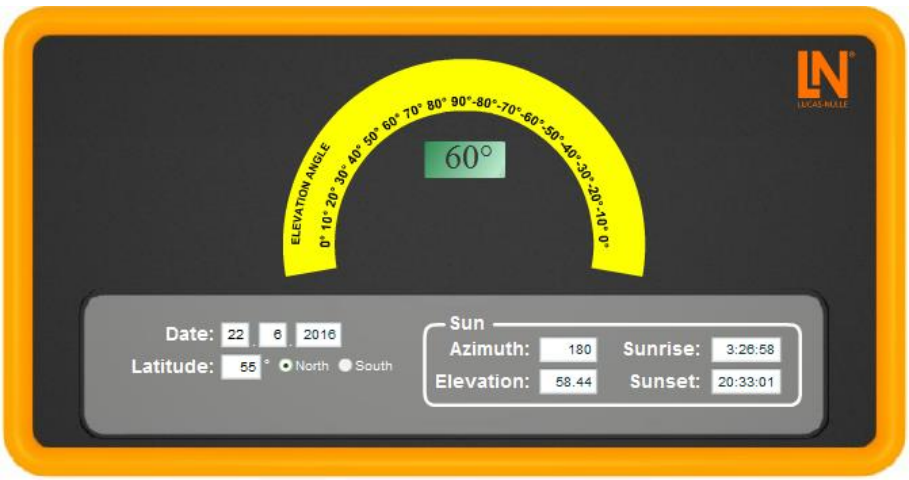
Для расчёта положения солнца используется калькулятор, имеющий следующие установки:

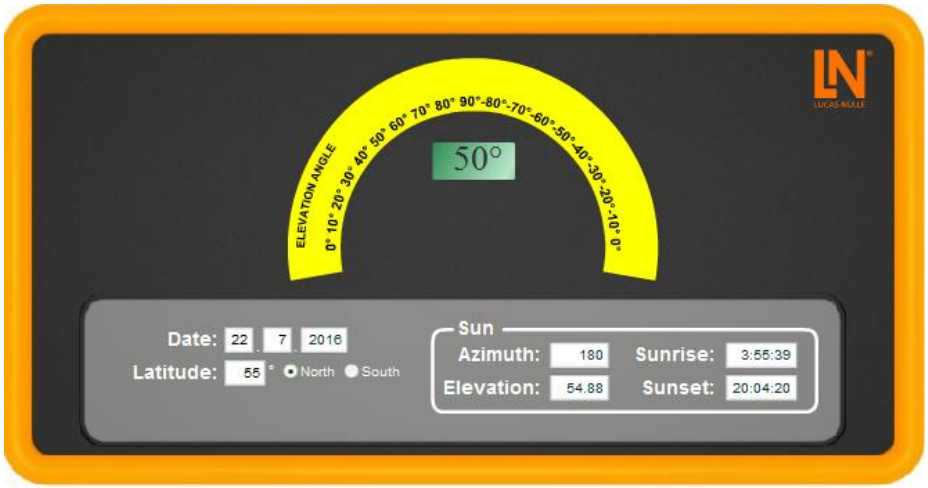


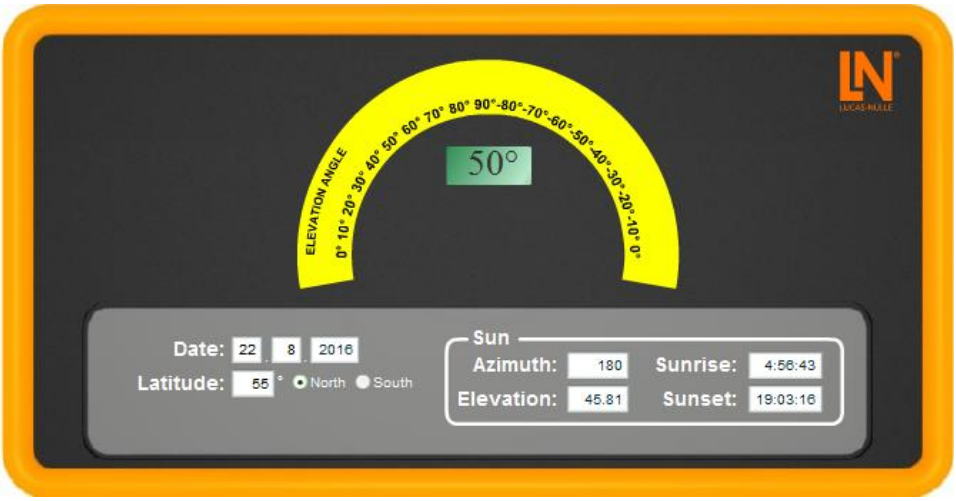

ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
40°
Date: 22 3 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Sunrise: 5:57:45
Elevation: 35.39
Sunset: 18:02:14

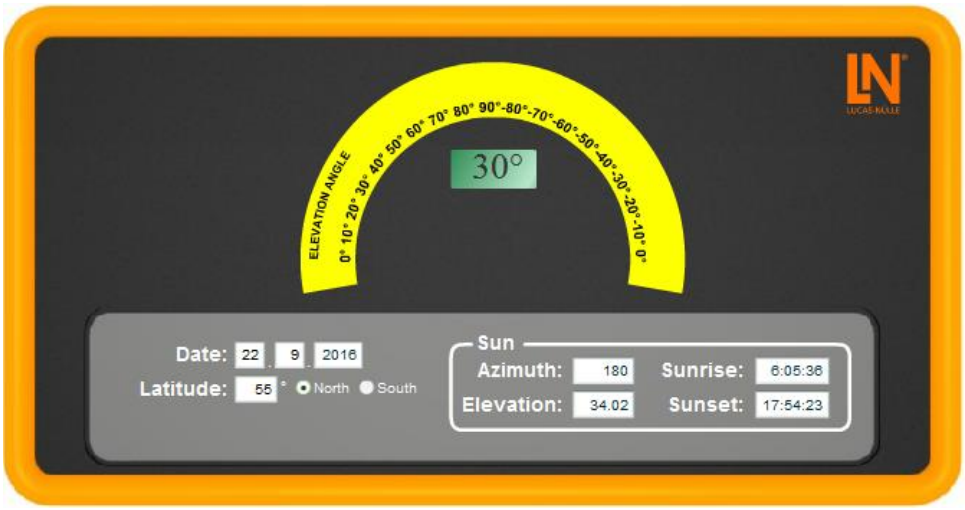

ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
40°
Date: 22 3 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Sunrise: 5:57:45
Elevation: 35.39
Sunset: 18:02:14

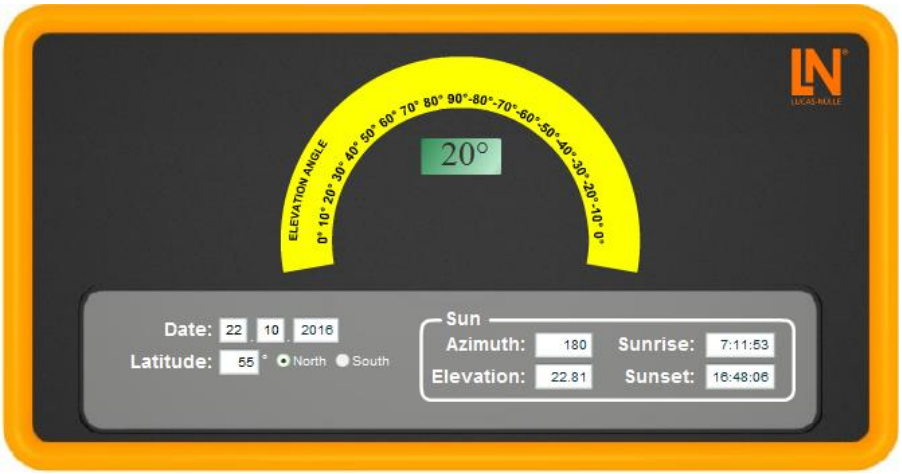

ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 5 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Sunrise: 3:51:40
Elevation: 55.4
Sunset: 20:08:19
нт2 - Microsoft Word

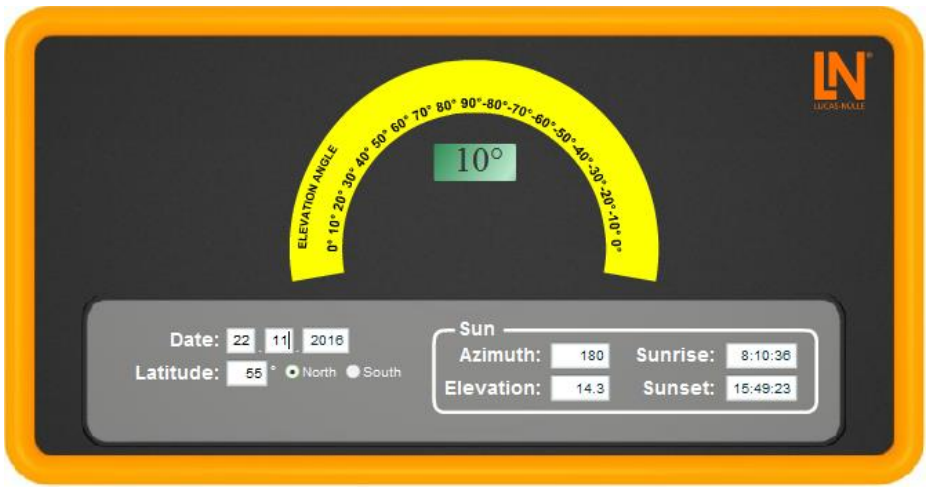

ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 6 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Elevation: 58.44
Sunrise: 3:26:58
Sunset: 20:33:01

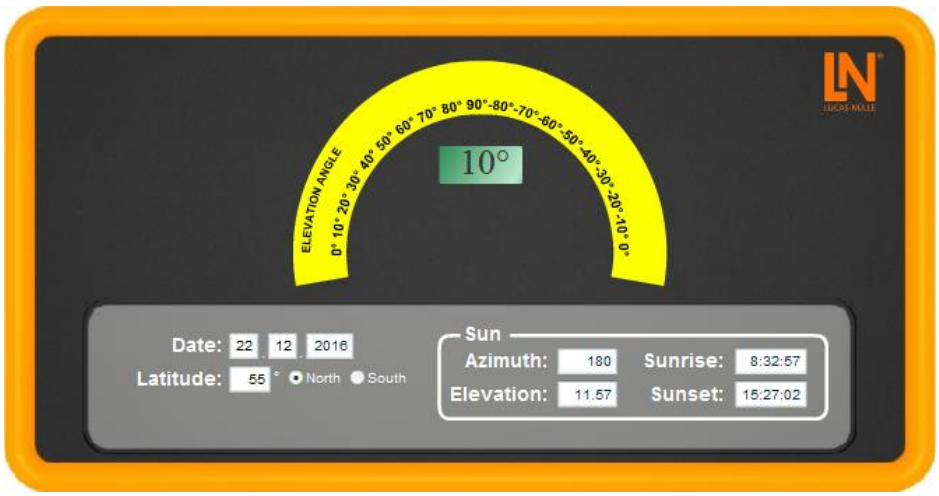

ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
50°
Date: 22 7 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Elevation: 54.88
Sunrise: 3:55:39
Sunset: 20:04:20


ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
50°
Date: 22 8 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Elevation: 45.81
Sunrise: 4:56:43
Sunset: 19:03:16


ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
30°
Date: 22 . 9 . 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Elevation: 34.02
Sunrise: 6:05:36
Sunset: 17:54:23


ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
20°
Date: 22 . 10 . 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Elevation: 22.81
Sunrise: 7:11:53
Sunset: 16:48:06


ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
10°
Date: 22 . 11 . 2016
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Elevation: 14.3
Sunrise: 8:10:36
Sunset: 15:49:23



Результаты этого измерения не являются точной моделью реальных условий, поэтому результаты можно оценить только в теоритезированном виде.

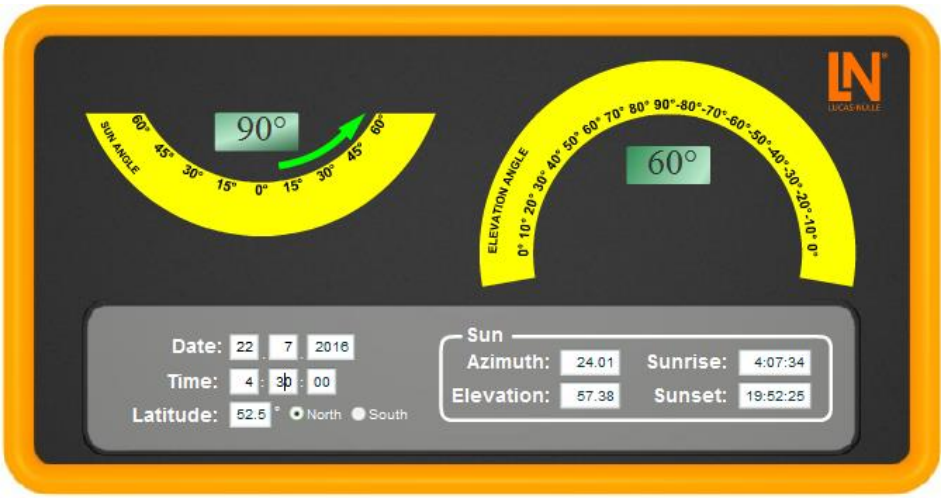
Сделайте выводы по полученным значениям таблицы и диаграммы.

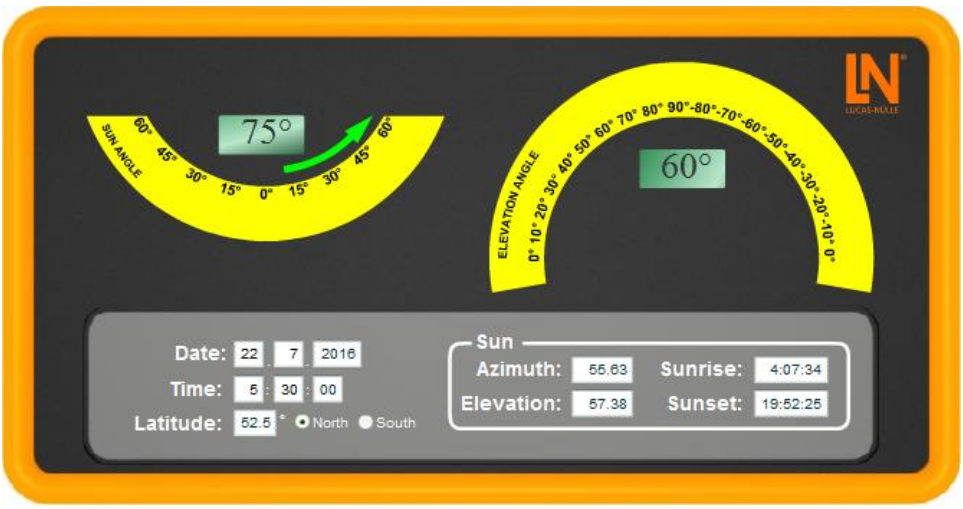
В каком (каких) месяце (месяцах) ток короткого замыкания имеет наибольшее значение?

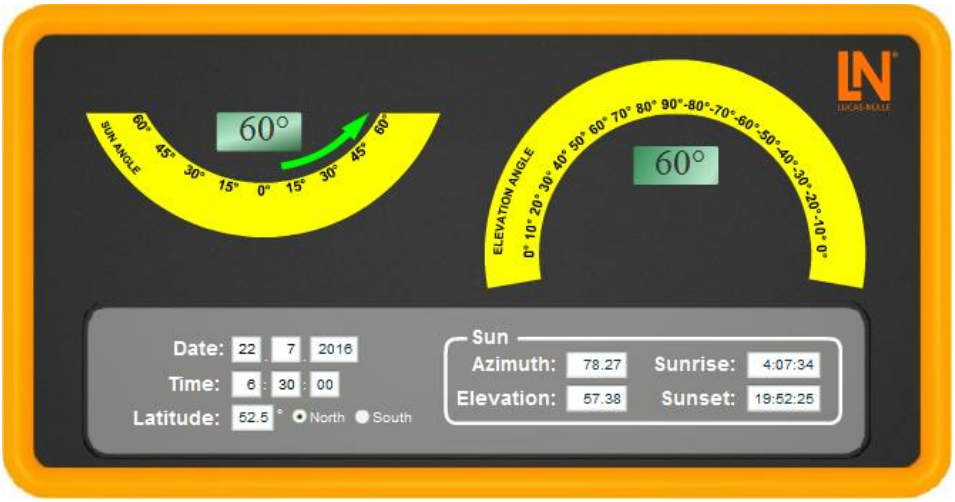
В чём вы видите причину (причины) колебания значения интенсивности облучения в течение года?

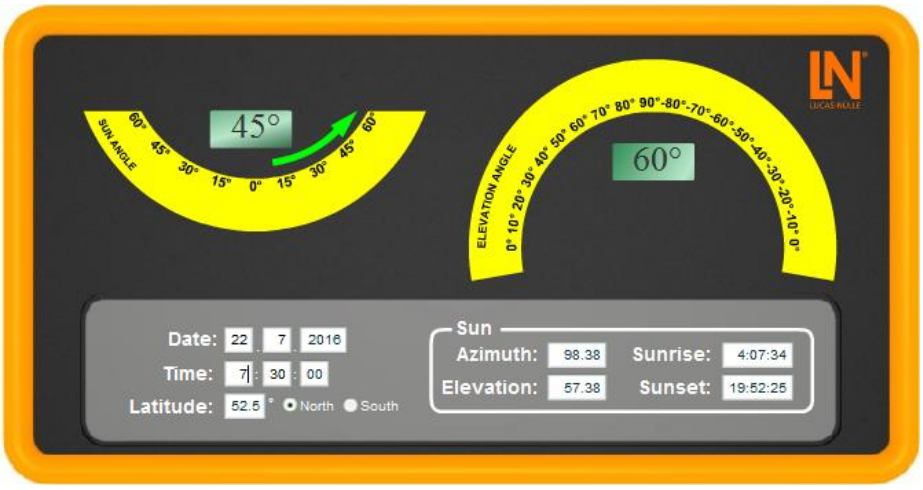
2. Получение дневной характеристики.

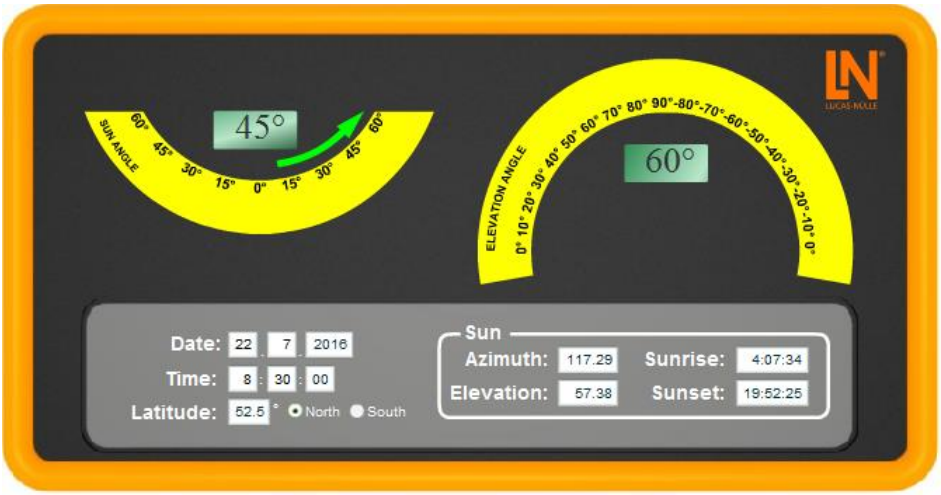
Для угловой панели установите угол = 0°, а солнечный угол и угол высоты над горизонтом установите в соответствии с рассчитанными углами. Измерьте ток короткого замыкания. Используйте лампу максимальной яркости. Результаты ваших измерений занесите в таблицу. Повторите измерения для всех значений времени, от восхода до заката солнца. После того, как вы выполните все измерения, постройте диаграмму по полученным значениям.

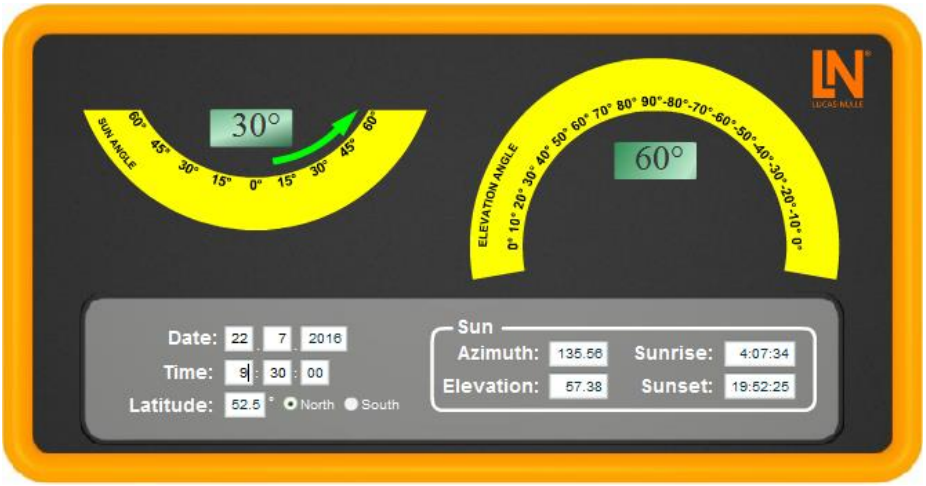


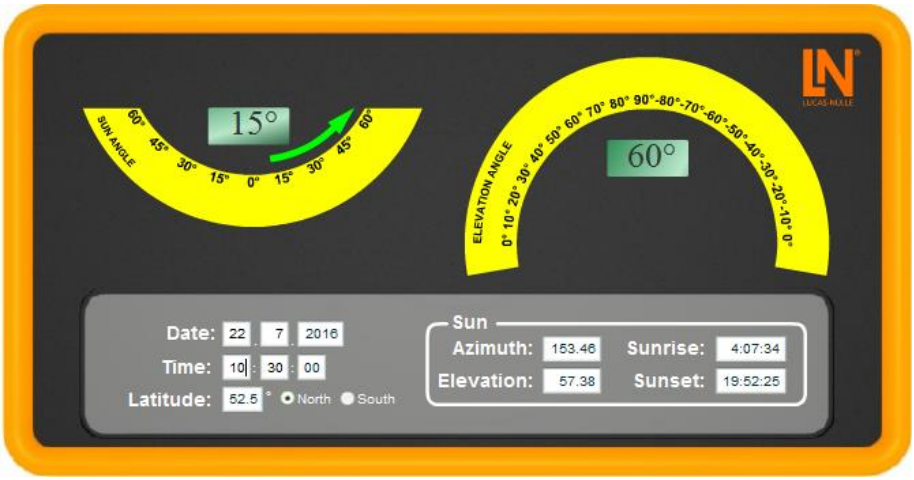

SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
75°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 5 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 55.63
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25

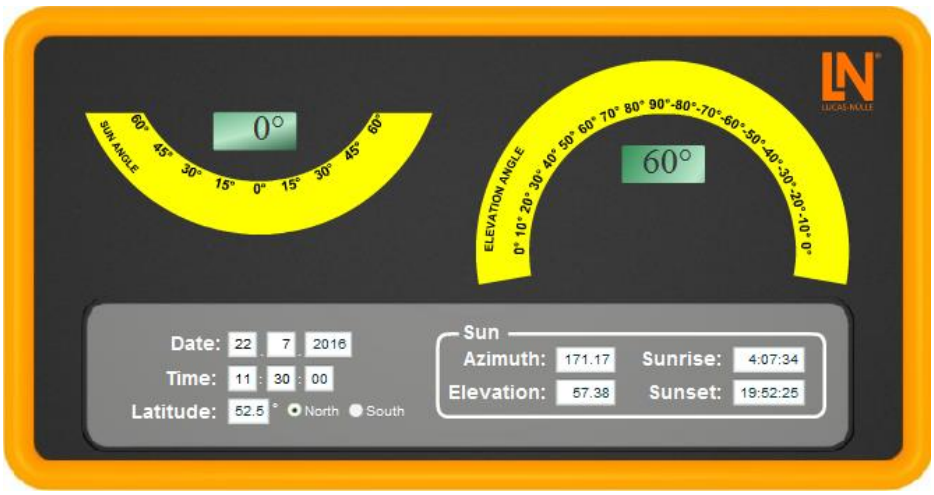

SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
60°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 6 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 78.27
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25

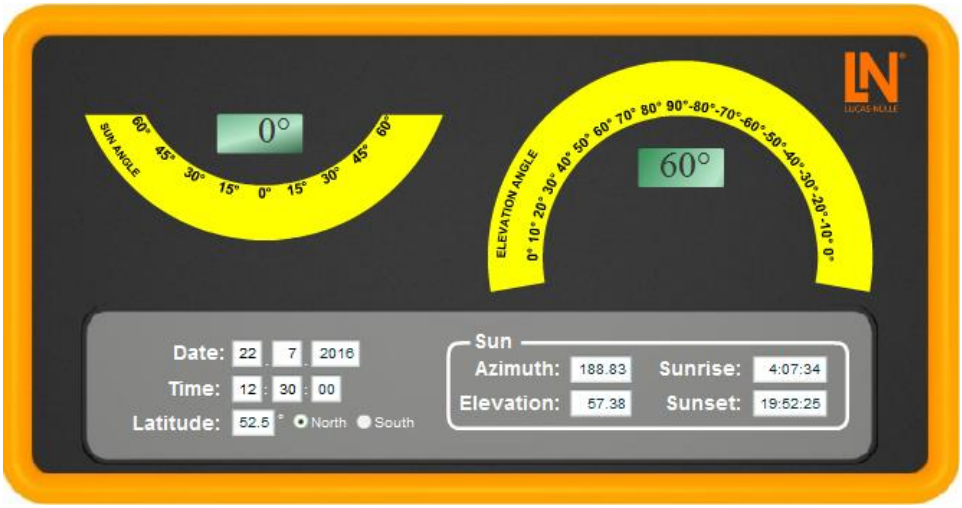

SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
45°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 7 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 98.38
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25

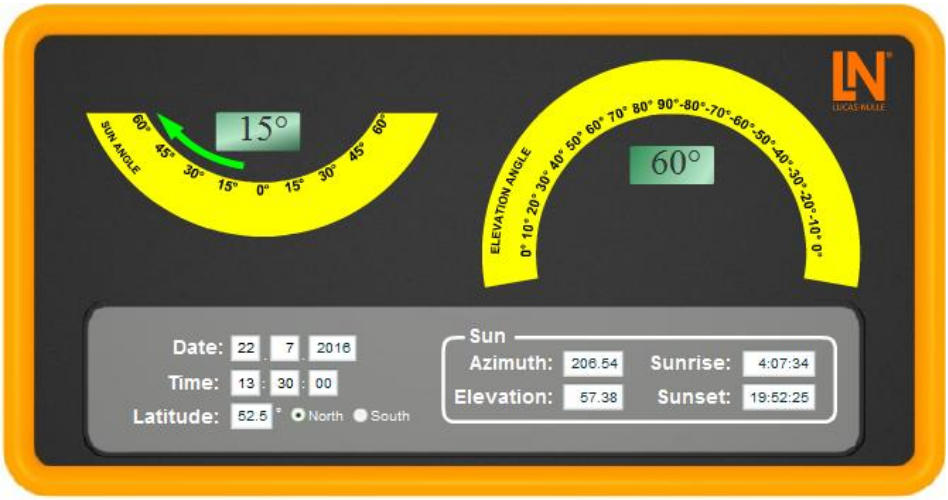

SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
45°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 8 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 117.29
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25

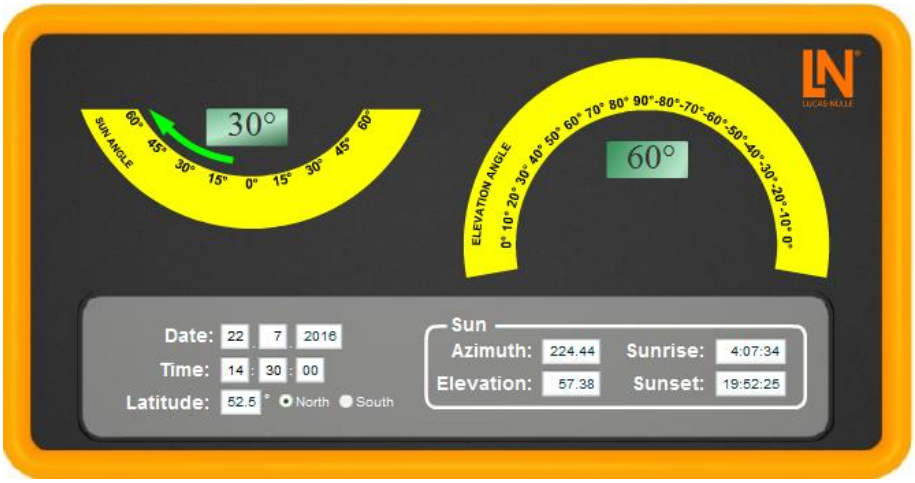

SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
30°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 9 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 135.56
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25

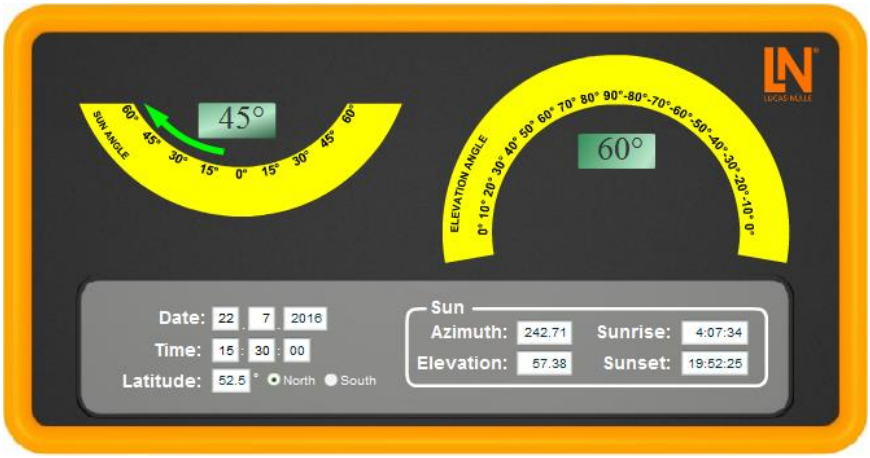

SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
15°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 10 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 153.46
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25

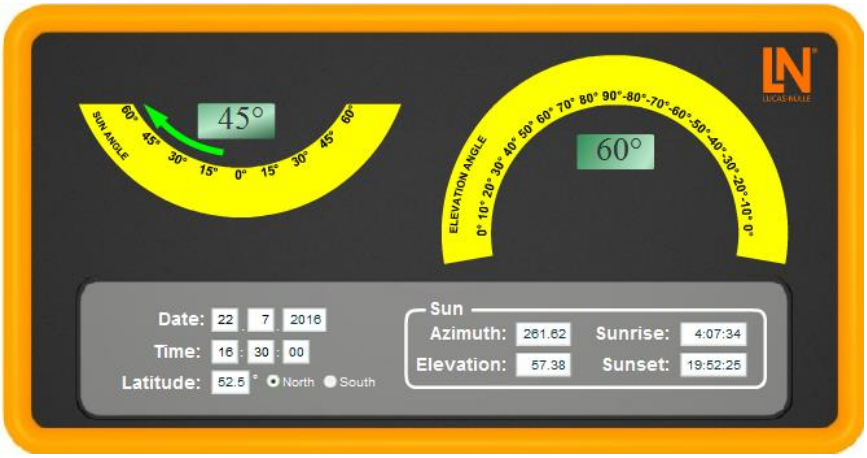

SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
0°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 11 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 171.17
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25

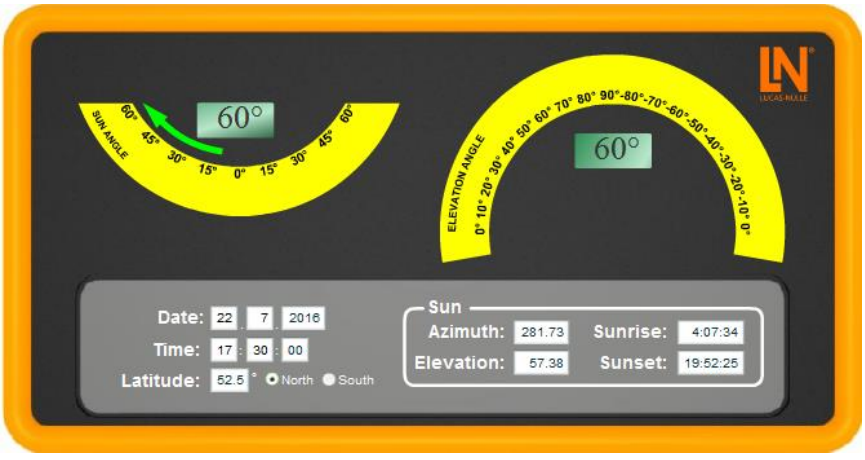

SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
0°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 12 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 188.83
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25


SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
15°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 13 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 206.54
Elevation: 57.38
Sunrise: 4:07:34
Sunset: 19:52:25


SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
30°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 14 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 224.44
Sunrise: 4:07:34
Elevation: 57.38
Sunset: 19:52:25


SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
45°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 15 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 242.71
Sunrise: 4:07:34
Elevation: 57.38
Sunset: 19:52:25


SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
45°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 16 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 261.62
Sunrise: 4:07:34
Elevation: 57.38
Sunset: 19:52:25


SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
60°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
60°
Date: 22 . 7 . 2016
Time: 17 : 30 : 00
Latitude: 52.5 ° North South
Sun
Azimuth: 281.73
Sunrise: 4:07:34
Elevation: 57.38
Sunset: 19:52:25

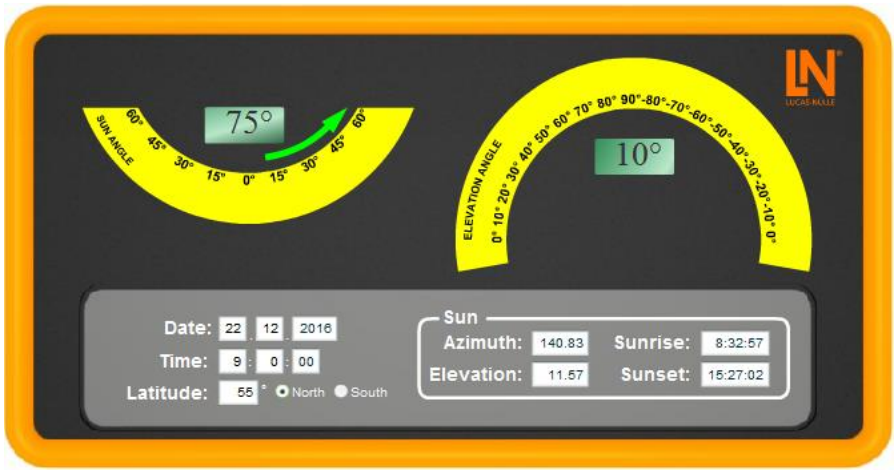


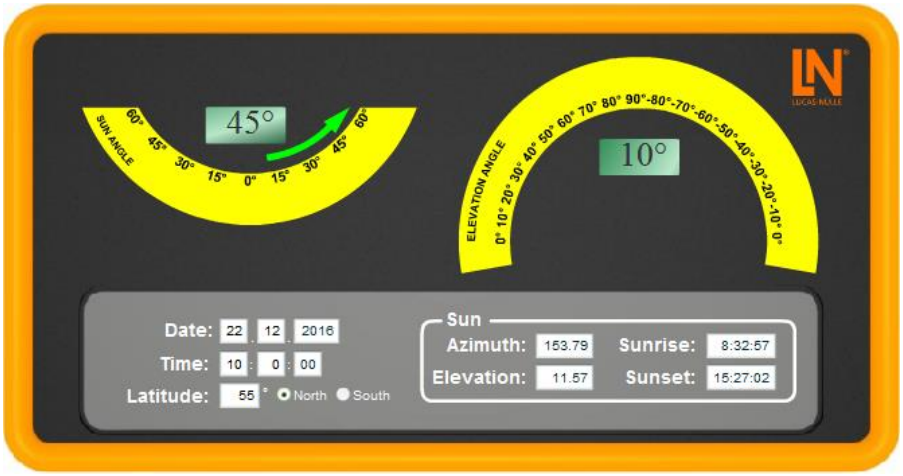
Используя диаграмму, определите время и величину максимального тока.

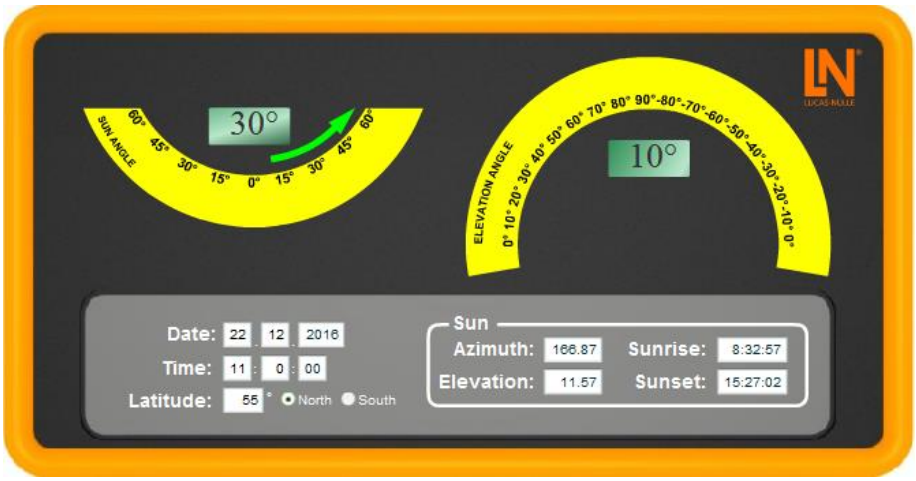
$t_{I\ max}$ = ☐:00 часов

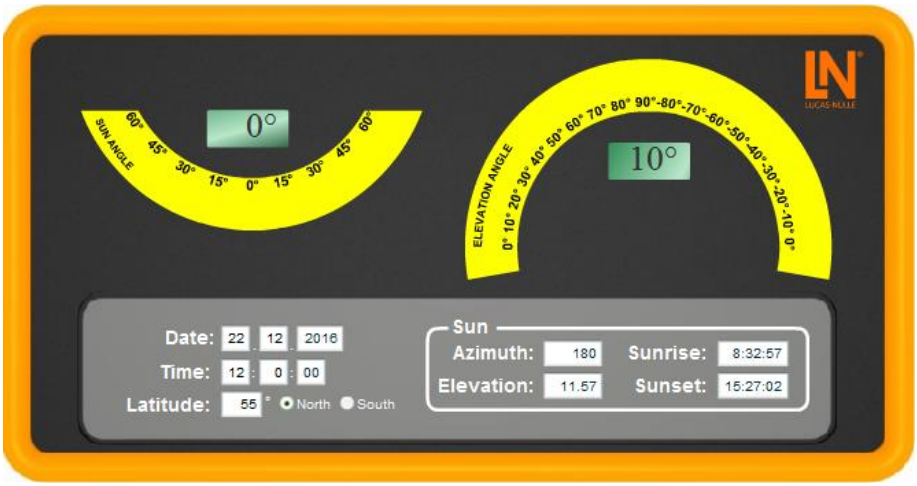
I_{max} = ☐ мА

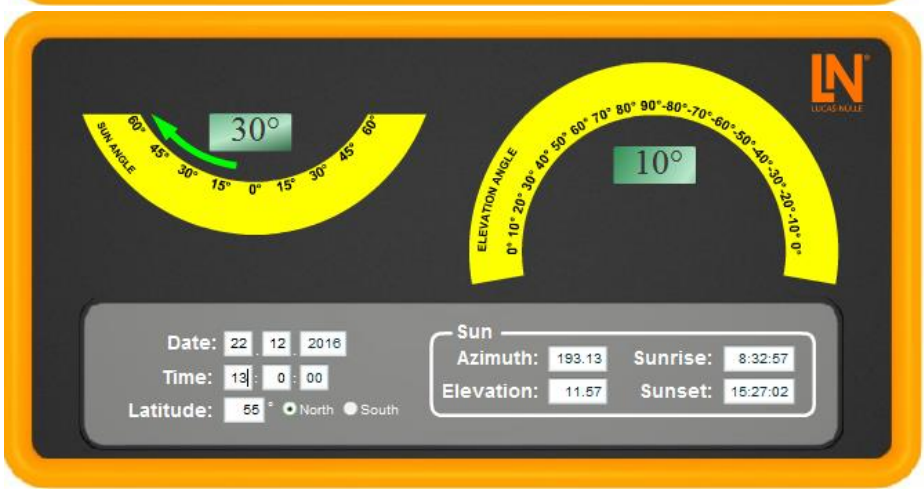
Сохраните схему эксперимента и повторите процесс получения характеристики интенсивности облучения в течение дня. В этот раз характеристика должна быть на декабрь.




45°
SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
10°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
Date: 22 12 2016
Time: 10 0 00
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 153.79
Elevation: 11.57
Sunrise: 8:32:57
Sunset: 15:27:02


30°
SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
10°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
Date: 22 12 2016
Time: 11 0 00
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 166.87
Elevation: 11.57
Sunrise: 8:32:57
Sunset: 15:27:02


0°
SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
10°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
Date: 22 12 2016
Time: 12 0 00
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 180
Elevation: 11.57
Sunrise: 8:32:57
Sunset: 15:27:02


30°
SUN ANGLE
60° 45° 30° 15° 0° 15° 30° 45° 60°
10°
ELEVATION ANGLE
0° 10° 20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90°-80°-70°-60°-50°-40°-30°-20°-10° 0°
Date: 22 12 2016
Time: 13 0 00
Latitude: 55 ° North South
Sun
Azimuth: 193.13
Elevation: 11.57
Sunrise: 8:32:57
Sunset: 15:27:02



Результаты ваших измерений занесите в таблицу. Повторите измерения для всех значений времени, от восхода до заката солнца. После того, как вы выполните все измерения, постройте диаграмму по полученным значениям.
Сравните между собой обе дневные характеристики. Сделайте соответствующие выводы.

Лабораторная работа №5

Отслеживание максимальной точки мощности на основе искусственной нейронной сети

В последние десятилетия в мире бурно развивается новая прикладная область математики, специализирующаяся на искусственных нейронных сетях. Искусственные нейронные сети и нейроны – это математические модели биологических нейронных сетей и нейронов. Подробно математический аппарат нейронных сетей описан в работах. ИНС осуществляет преобразование вектора входных сигналов (воздействий) в вектор выходных сигналов. Интерпретация векторов и зависит от постановки решаемой задачи и предметной области.

Преимуществами ИНС перед традиционными системами управления является:

1. Искусственные нейронные сети являются самообучаемыми системами.

2. ИНС могут обучаться любым функциям.
3. Использование нелинейных функций активации в нейронных сетях позволяет реализовать задачи с существенными нелинейностями.

Сегодня существует большое число различных конфигураций нейронных сетей с различными принципами функционирования, которые ориентированы на решение самых разных задач. Актуальность исследований в этом направлении подтверждается массой различных применений нейронных сетей, таких как медицинская диагностика или управление электродвигателями. ИНС также получила широкое распространение в исследованиях максимальной точки мощности солнечных батарей. Например, для ОТММ в условиях частичного затенения солнечного модуля. Здесь ИНС работает совместно с модифицированным алгоритмом возрастающей проводимости. Пока солнечная батарея освещается равномерно, работает алгоритм возрастающей проводимости. Как только на батарею падает тень, в работу включается нейронная сеть.

Можем сделать вывод, что системы управления на основе искусственной нейронной сети обеспечиваю достаточно высокую точность работы и находят применение в различных областях науки и техники.

Цель лабораторной работы:

1) Снять Вольт-амперные характеристики при различной интенсивности облучения.
2) Обработать численные данные для дальнейшего использования.
3) Создать Искусственную нейронную сеть в программном обеспечении Matlab.
4) Проверить работу искусственной нейронной сети сравнив с экспериментальными данными

Ход работы:

1) На рисунке 1 представлена схема для измерения тока и напряжения фотогальванического элемента при различной степени облучения и различной нагрузке.

Соберите схему, представленную на рисунке 1, и перед ее включением покажите преподавателю. Обратите внимание, что мультиметр, в данном эксперименте подключается к компьютеру.

С помощью программы Starter, как в предыдущих лабораторных работах, запустите X/Y Плоттер.

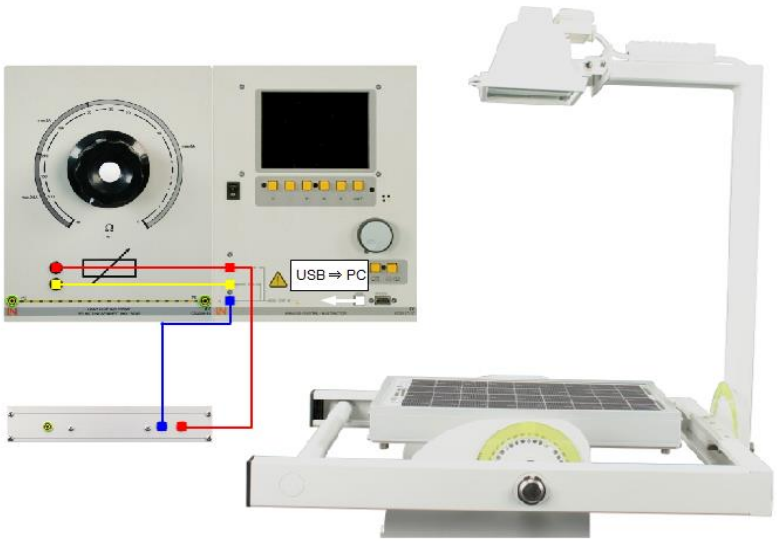


Рис. 1

В появившемся окне по оси x (кнопка X-AXES) - выберете режим отображения действующего тока (Irms), по оси y (кнопка Y-AXES) - выберете режим отображения действующего значения напряжения (Urms) и полной мощности (S).
Далее в разделе конфигурация (кнопка CONFIG), выберете установки отображения выбранных параметров. Интервал по напряжению (RANGE)=30 V, режим (MODE) AC-DC, интервал по току=1 A, режим AC-DC. Закроите Конфигурации, нажав на крестик.
Далее кликните по рабочей области правой кнопкой мыши, появится контекстное меню, в нем выберете Свойства.
Появятся свойства отображения выбранных параметров. По напряжению, (в разделе Ось) установите следующие параметры: Максимум=20; Деление=2, по току (выберете в разделе Ось-Токи): Максимум=0,2; Деление=0,02. По мощности: Максимум=4; Деление=1. Закройте Свойства нажав на ОК.

Для отображения характеристики, выполните следующие шаги:

1. Установите интенсивность облучения 1.
2. Установите потенциометр на 0 Ω (короткое замыкание).
3. Запустите процесс рисования характеристики UI, с помощью кнопки **REC**.
4. Медленно вращайте потенциометр, до получения максимального сопротивления.
5. Закончите регистрацию характеристики, нажав выключатель **REC.**
6. Сохраните файл в текстовом документе.
7. Повторите пункты для остальных уровней освещенности.

Примечание: Для того чтобы сохранить файл в текстовом формате нужно нажать на рабочую область правой кнопкой мыши и выбрать Экспорт.

У галогенного излучателя имеется регулятор интенсивности облучения рис. 6, он имеет штриховки, с помощью которых можно легко фиксировать степень облучения, как лабораторной работе №1 необходимо снять данные при восьми разных положениях регулятора, его шкалу необходимо разделить на положения (начало и конец).

Необходимо, устанавливая различную интенсивность облучения и руководствуясь таблицей 1, измерить ВАХ фотомодуля. Результаты измерений занесите в Таблицу 1.

Для того, чтобы солнечный модуль нагрелся до нужной температуры, перед каждым измерением нужно выдержать 5 минут, при установленном уровне освещенности.



Рис. 2

Таблица 1

Положение регулятора	Интенсивность облучения (Вт/м^2)	Температура, ^{o}C
1	150	29
2	170	32
3	190	33
4	210	35
5	230	36
6	260	38
7	310	40
8	380	44

2) Перед созданием нейронной сети нужно выбрать наиболее подходящее программное обеспечение для конкретной задачи. Программное обеспечение, имитирующее работу нейронной сети, называют нейросимулятором либо нейропакетом.

Пакет MATLAB предоставляет пользователям возможность работы с нейронными сетями. Входящий в стандартную поставку MATLAB "Neural Network Toolbox" предоставляет широкие возможности для работы с нейронными сетями всех типов. Преимущество пакета MATLAB состоит в том, что при его использовании пользователь не ограничен моделями нейронных сетей и их параметрами, жестко заложенными в нейросимуляторе, а имеет возможность самостоятельно сконструировать ту сеть, которую считает оптимальной для решения поставленной задачи.

Итак, приступаем к определению основных этапов для создания нейронной сети.

Создание нейронной сети включает в себя несколько этапов:

1. Сбор данных для обучения;
2. Подготовка и оптимизация данных;
3. Выбор топологии сети;
4. Экспериментальный подбор характеристик сети;
5. Обучение;

3) Выбор данных для обучения сети и их обработка является важным этапом решения задачи. Исходные данные должны быть преобразованы к виду, в котором их можно подать на входы сети.

Данные для обучающей выборки нужно оптимизировать, разделив по таблицам. Для этого нужно создать документы Excel для каждого уровня освещенности, который будет включать столбцов 6: Ток, Напряжение, Освещенность, Температура, Напряжение соответствующее максимальной мощности.

4) В данной работе обработка данных включает в себя определение правильного ответа для обучения нейронной сети. Т.к. данная нейронная сеть должна определять напряжение в точке максимальной мощности солнечной батареи при меняющихся внешних условиях, следовательно, в столбец «Максимальное напряжение» нужно записать правильный ответ соответствующей напряжению в точке максимальной мощности при определённой освещенности и температуре.

5) Так как данная задача является относительно простой выбираем структуру сети – сеть прямого распространения, т.е. все связи направлены строго от входных нейронов к выходным. На рис. 3 показана общая архитектура ИНС.

6) После того как все данные подготовлены приступаем к созданию ИНС.

В программном обеспечении Matlab. Открываем новый .m файл.

В первую очередь нужно определиться с размером входного массива.

Во входной массив P должны быть записаны данные из нашей таблицы.

```
P=xlsread('Обучение.xlsx','A:D')';
```

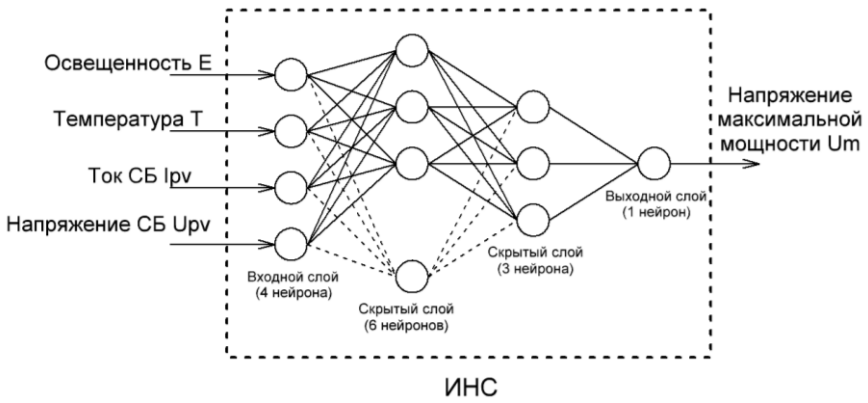


Рис. 3 Архитектура ИНС

Команда XLSREAD позволяет программе считывать данные из указанного Excel файла. 'A:D' соответствует первой и последней ячейке вашей таблицы *(без столбца с правильными ответами!)*.

В процессе обучения сеть в определенном порядке просматривает обучающую выборку. Порядок просмотра может быть последовательным, случайным и т. д.

Далее выбираем алгоритм для обучения:

net.trainFcn='trainlm'

Наиболее часто для обучения ИНС используется алгоритм Левенберга – Марквардта (**Levenberg-Marquardt**).

Функции тренировки

- **trainb** – пакетная тренировка с использованием правил обучения для весов и смещений
- **trainbfg** – тренировка сети с использованием квази–Ньютоновского метода BFGS
- **trainbr** – регуляризация Bayesian
- **trainc** – использование приращений циклического порядка
- **traincgb** – метод связанных градиентов Пауэлла-Била (Powell-Beale)
- **traincgf** - метод связанных градиентов Флетчера-Пауэлла (Fletcher-Powell)
- **traincgp** - метод связанных градиентов Полака-Рибира (Polak-Ribiere)
- **traingd** – метод градиентного спуска
- **traingda** – метод градиентного спуска с адаптивным обучением
- **traingdm** - метод градиентного спуска с учетом моментов
- **traingdx** - метод градиентного спуска с учетом моментов и с адаптивным обучением

- **trainlm** – метод Левенберга-Маркара (Levenberg-Marquardt)
- **trainoss** – одноступенчатый метод секущих
- **trainr** – метод случайных приращений
- **trainrp** – алгоритм упругого обратного распространения
- **trains** – метод последовательных приращений
- **trainscg** - метод шкалированных связанных градиентов

Создаем сеть прямого распространения где P – входы сети, а T – выход. В квадратных скобках указывается количество скрытых слоев и нейронов в этих слоях. Чем сложнее задача и больше количество входных данных, тем больше будет нейронов в скрытых слоях.

```
net = newff(P,T,[6 3]);
```

Заучивание ответов не является целью работы нейронной сети, следовательно, чтобы избежать такого эффекта, число скрытых слоев выбирается исходя из количества данных в обучающей выборке.

Запускаем обучение.

```
net = trainlm(net,P,T);
```

Процесс обучения нейронной сети включает в себя настройки значений весовых функций и смещений, чтобы оптимизировать производительность сети (Рис. 4). При обучении данные подаются на вход сети для обучения, а тестовые данные используются для расчета ошибки сети. Таким образом, если на тестовом массиве ошибка уменьшается, то сеть действительно выполняет обобщение.

Если на обучающих данных продолжает уменьшаться, а на тестовых увеличивается, значит, ИНС перестала выполнять обобщение и просто запоминает правильные ответы. В таких случаях обучение прекращается.

В качестве функции оценки функционирования сети используется средняя квадратичная ошибка (MSE) или Performance.

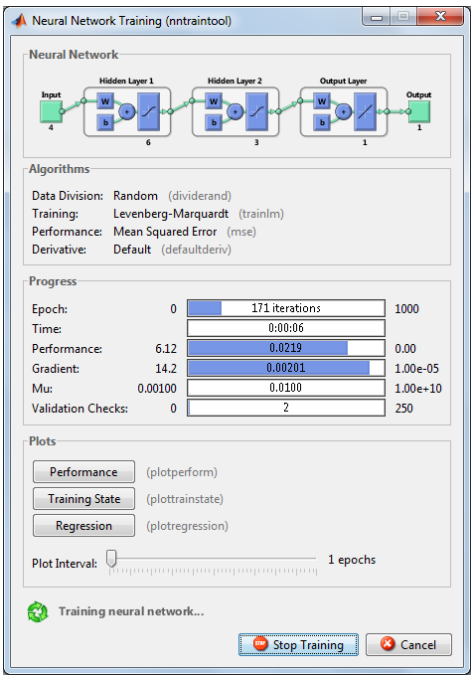


Рис. 4. Процесс обучения нейронной сети.

7) Для более точной оценки достоверности результатов работы сети можно воспользоваться сравнением эталонных значений со значениями, полученными на выходе сети, когда на вход подан тестовый массив.

```
simplefitOutputs = sim(net,P);
plot(T,simplefitOutputs,'+');
hold on
plot([12 18],[12 18],'r');
hold off
```

Рис. 5 иллюстрирует сравнение компонентов выходных векторов сети и правильные ответы тестового массива.

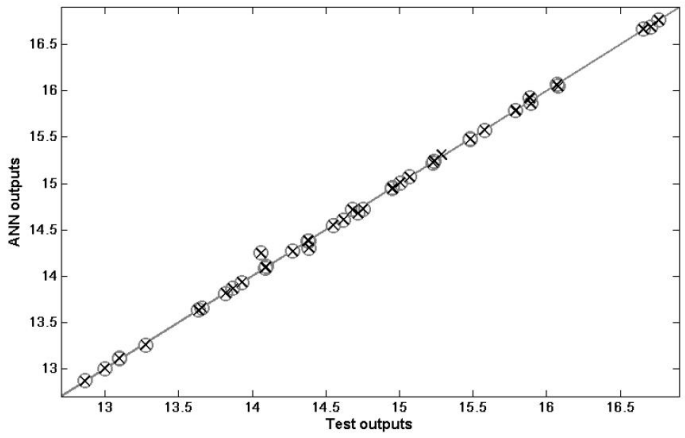


Рис. 5 Идеальная линия, результат работы сети(x) и ответы сети на тестовом массиве(○).

Добившись хорошего результата можно создать блок Simulink для моделирования нейронной сети. Для это используем Gensim(net) (В окне Command Window).

8) Результаты работы искусственной нейронной сети сравните с ожидаемыми результатами.

Таблица 2

E, Вт/м^2	T, ^{o}C	I_{pv}, A	$U_{pv,}$ B	Обученная сеть U_{max}, B	Ожидание U_{max}, B	Ошибка, %

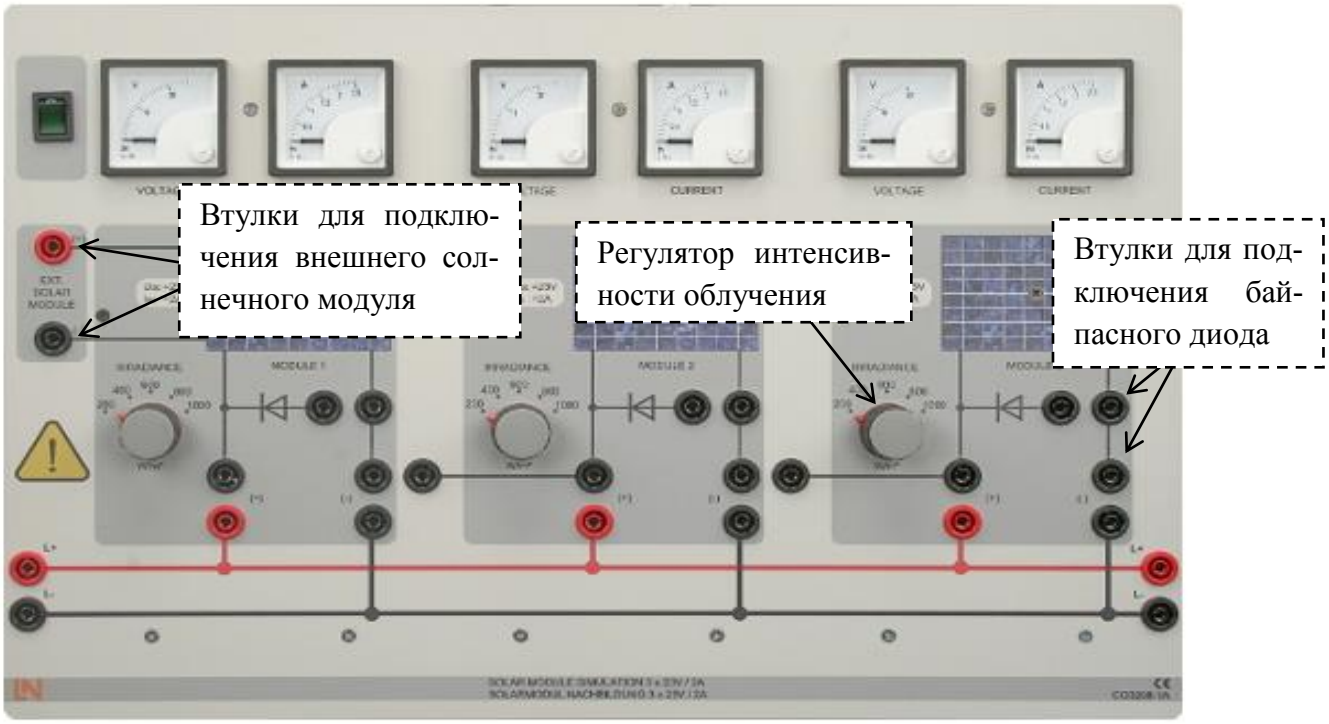
Вопросы:

1. Преимущества ИНС перед традиционными системами управления?
2. Какие существуют системы управления для ОТММ?
3. Какие этапы включает в себя создание ИНС?
4. Что такое сеть прямого распространения?
5. Что может произойти ИНС если неверно указать количество нейронов?
6. Назовите преимущества и недостатки использования фотоэлектрических систем?

Оборудование:

CO3208-1A	Копия солнечного модуля 3 шт. x 23 В / 2 А
CO3208-1B	Солнечный модуль с эмулятором солнца
CO3208-1D	Регулятор солнечной зарядки 12/24 В, 6 А
CO3208-1E	Солнечный аккумулятор 12 В, 7 А-ч
CO3208-1F	Локальный инвертор 230 В, 275 ВА
CO3208-1G	Промышленный фотогальванический преобразователь
CO3208-1H	Счётчик энергии
CO3208-1J	Блок нагрузки солнечного модуля 1 кОм, 500 Вт
CO3208-1K	Ламповая панель 12 В
CO3208-1L	Ламповая панель 230 В
CO3211-1A	Сетевой модуль подключения с выключателем, однофазный
CO5127-1Z	Аналоговый/Цифровой мультиметр

1) C03208-1A«Копия солнечного модуля» - содержит три несвязанные копии солнечных модулей.



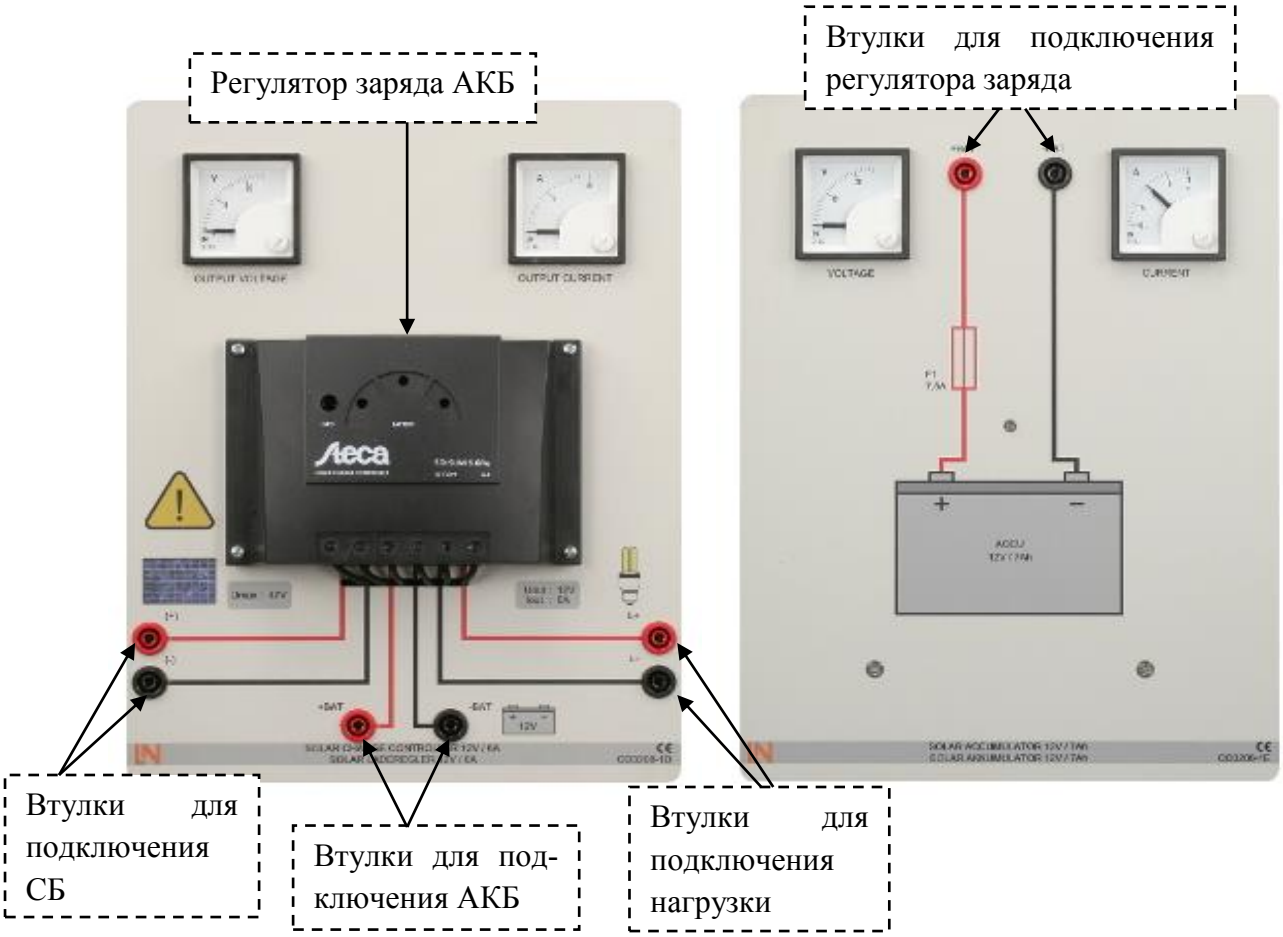
2) C03208-1B «Солнечный модуль с эмулятором солнца»



- ❖ Поликристаллический СМ на 10 Вт
  - ✓ **Напряжение холостого хода = 26 В**
  - ✓ Ток короткого замыкания = 650 мА
- ❖ Устанавливаемый наклон модуля (PANELANGLE)
- ❖ Устанавливаемая высота солнца (ELEVATIONANGLE)
- ❖ Устанавливаемый солнечный азимут (SUNANGLE)
- ❖ Галогенный излучатель 500 Вт (регулируемый)

! Во время работы галогенный излучатель и солнечный модуль нагреваются до высокой температуры.

3) C03208-1D«Регулятор заряда» - регулятор солнечного заряда свинцово - гелевых аккумуляторных батарей.



Регулятор солнечного заряда:

- ❖ Индикаторы режима работы (цветные светодиоды)
- ❖ Встроенные индикаторы измерения напряжения и тока на контактах подключения нагрузки
- ❖ Защита от глубокой разрядки подключенного аккумулятора
- ❖ Защита от перезаряда подключенного аккумулятора
- ❖ Защита от перенапряжения до 47 В на входе солнечных элементов.

! При работе, в первую очередь необходимо соединить аккумуляторную батарею проводами с регулятором заряда и, только после этого подключать солнечный генератор.

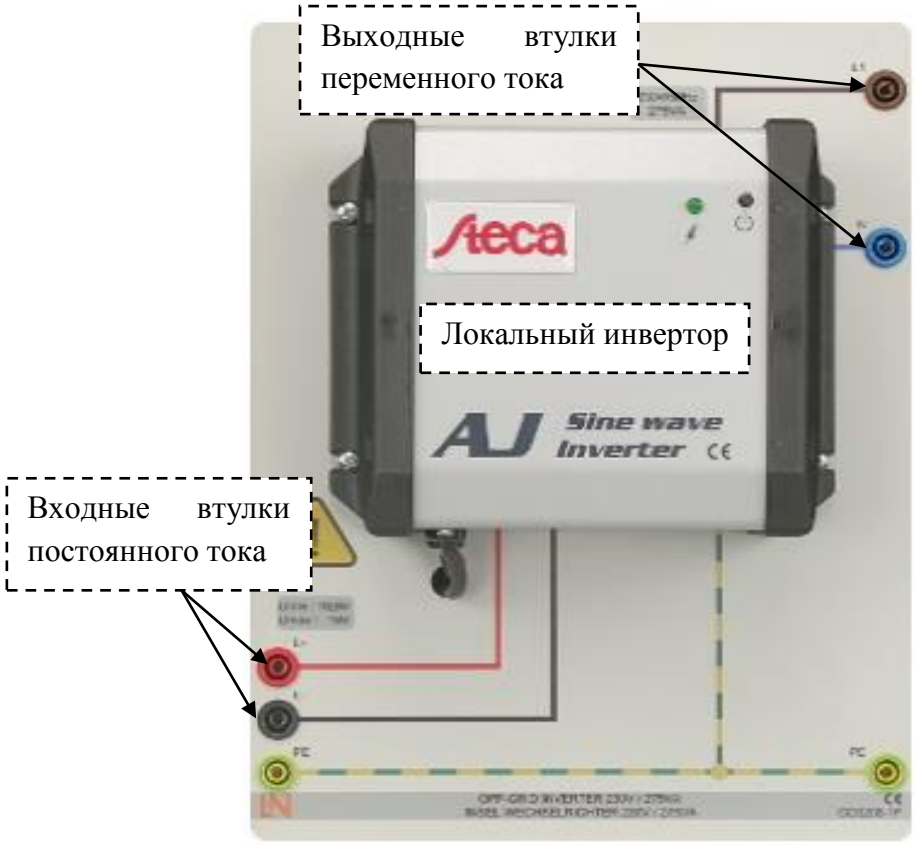
4) С03208-1Е «Солнечный аккумулятор» - имеет в составе свинцово-гелевую аккумуляторную батарею.

Солнечный аккумулятор:

- ❖ Не требует обслуживания свинцово-гелиевого аккумулятора 12 В/ 7 Ач
- ❖ Встроенные индикаторы измерения напряжения и тока
- ❖ Предохранитель (с возвратом в исходное положение)

! Не допускается режим короткого замыкания аккумулятора , так как это может вывести его из строя.

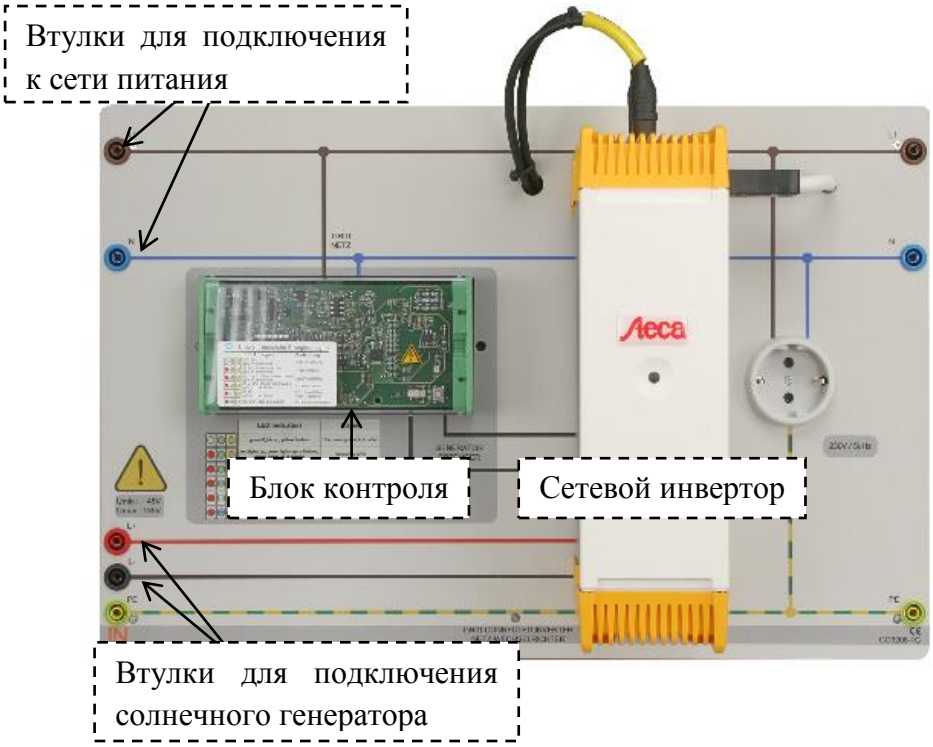
5) C03208-1F «Локальный инвертор», обеспечивает работу фотогальванических энергетических установок при изолированном режиме работы.



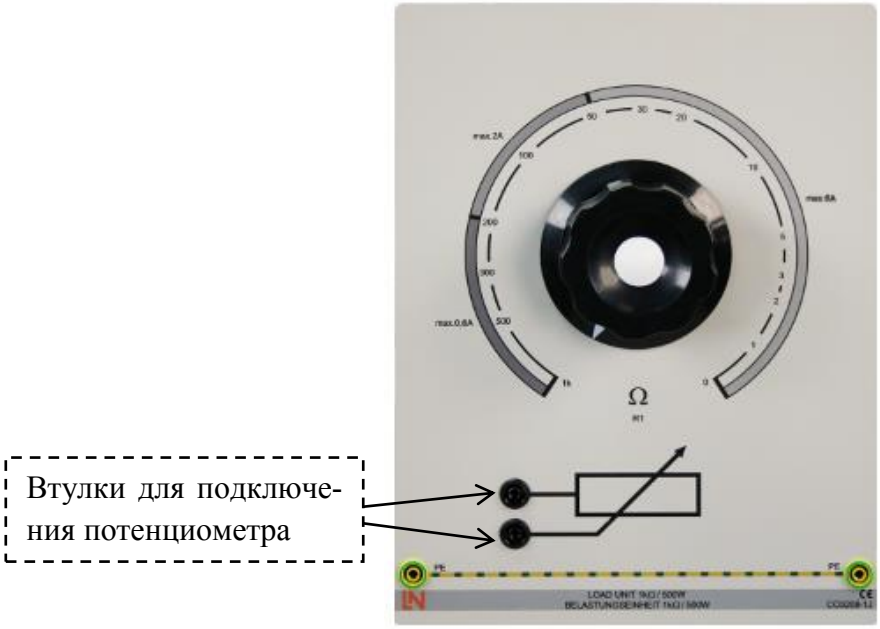
Локальный инвертор:

- На 12 В/ 230 В, 50 Гц
- Синусоидальное выходное напряжение
- Защита от неправильной полярности, со стороны постоянного напряжения
- Защита аккумуляторов от глубокой разрядки

6) C03208-1G «Сетевой инверторный преобразователь», имеет в составе инвертор для обеспечения работы фотогальванической энергетической установки в параллельной сети



7) CO3208-1J«Блок нагрузки 500 Вт»



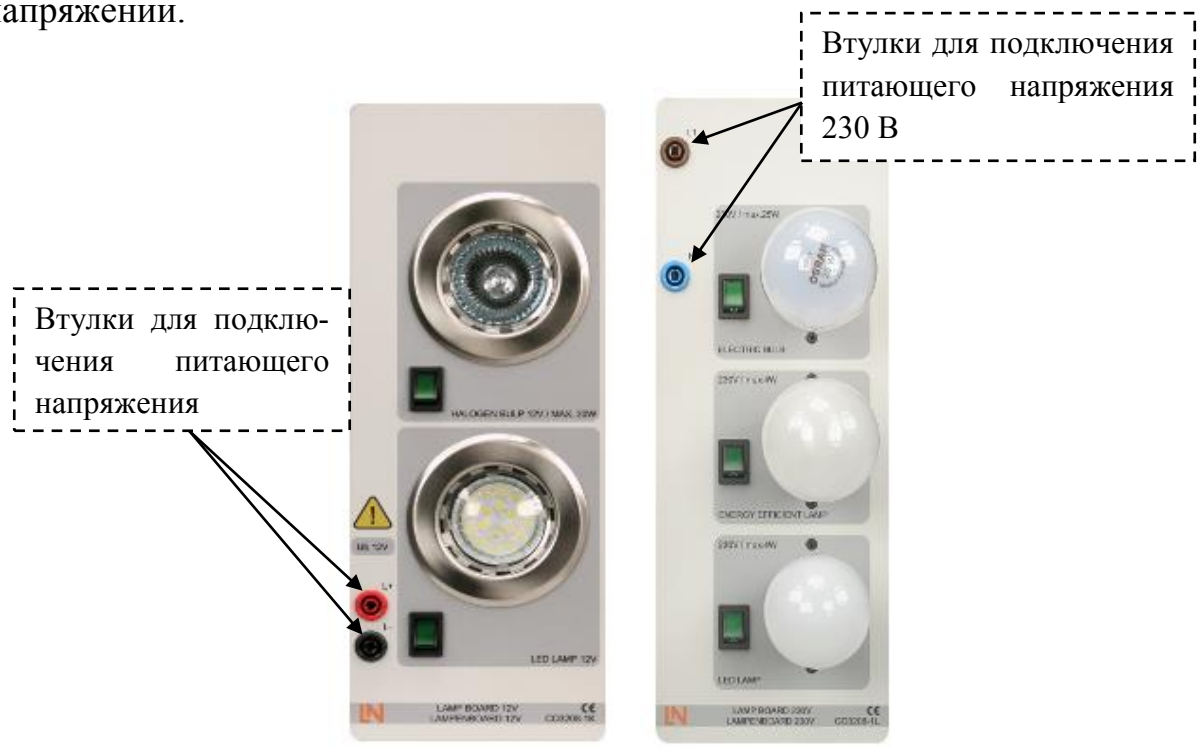
Допустимая нагрузка потенциометра по току

- ✓ 0 Ом – 30 Ом : 6 А
- ✓ 30 Ом – 200 Ом: 2 А
- ✓ 200 Ом – 1000 Ом: 0,6 А

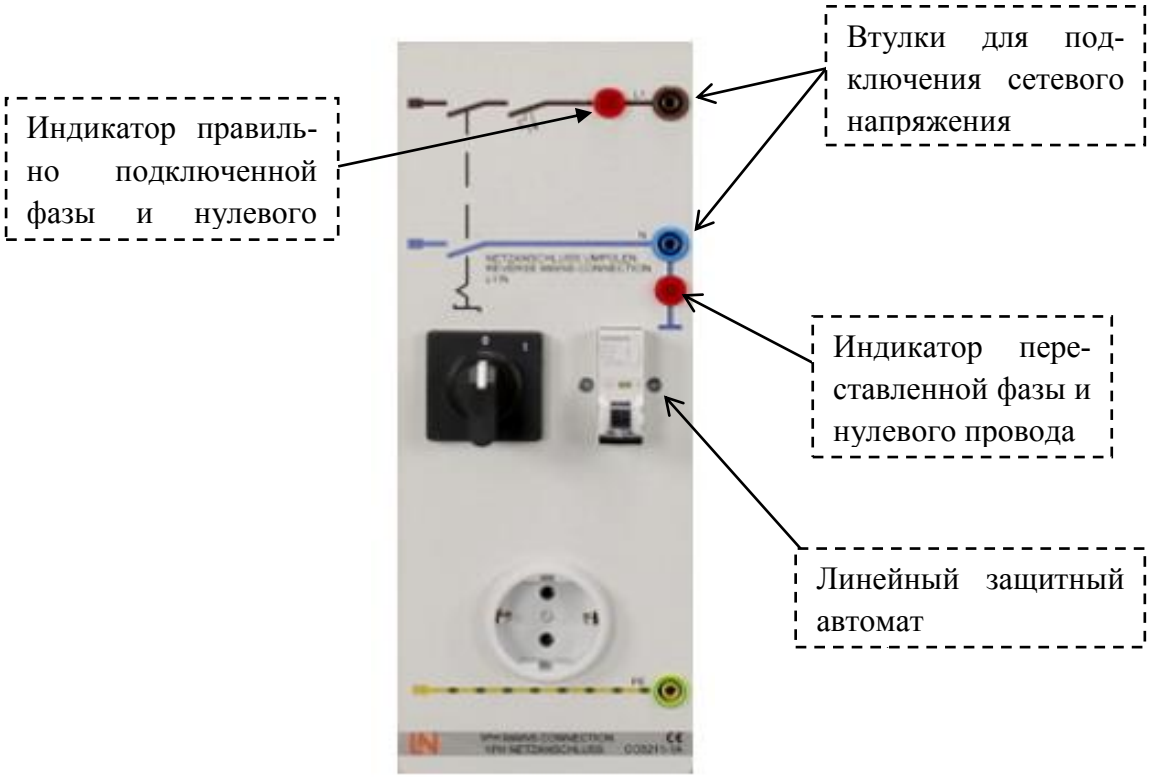
! С помощью амперметра необходимо следить за величиной тока, чтобы избежать недопустимой величины нагрузки.

8) CO3208-1K «Ламповая панель 12 В»
9) CO-3208-1L «Панель потребителей в виде электрических ламп»

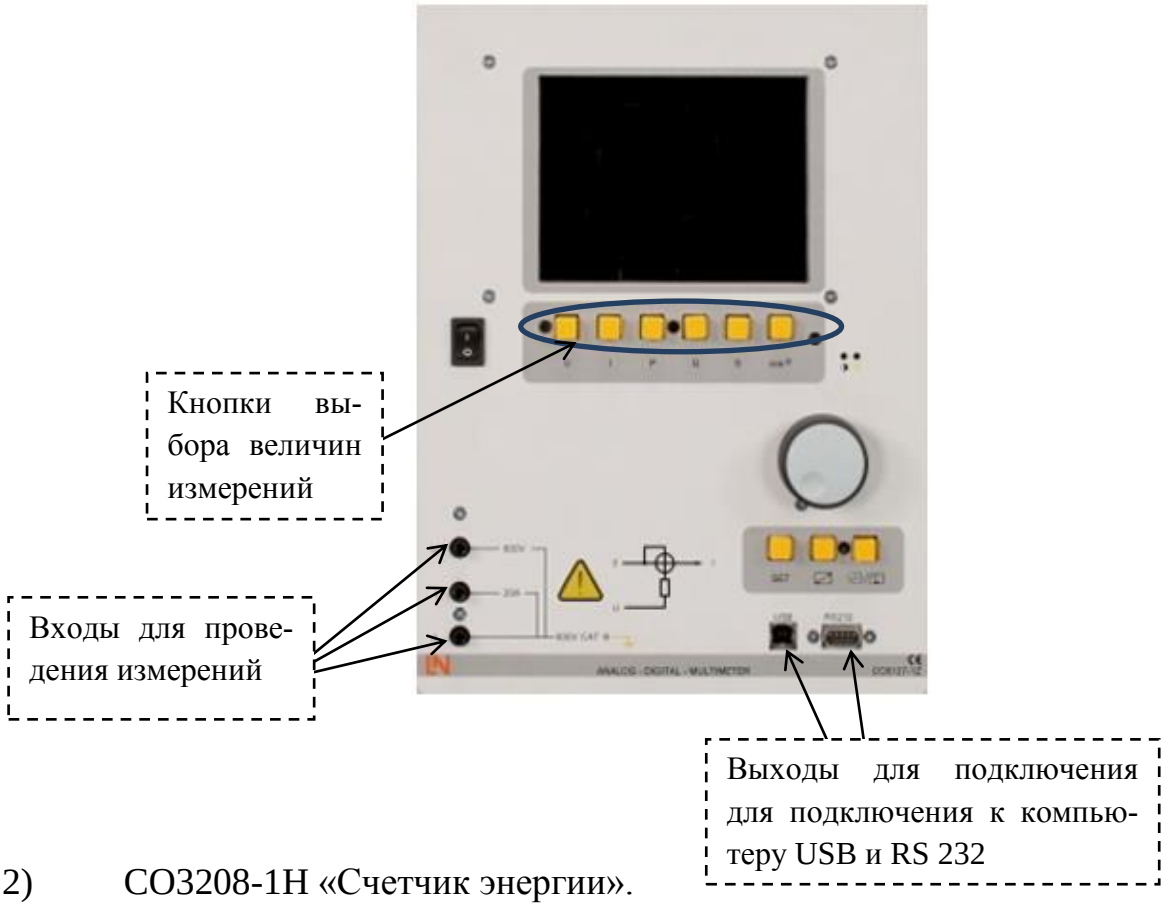
! Ламповый модуль необходимо использовать только при допустимом напряжении.



10) CO3211-1A «Соединительный модуль, между сетевым инвертором и общей сетью питания». Вырабатываемая фотогальваническими энергетическими установками энергия, поступает в сеть питания.



11) CO5127-1Z«Аналогово-цифровой мультиметр»



12) CO3208-1H «Счетчик энергии».



! Энергия считывается только тогда когда её поток следует в направлении стрелки.