

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Кафедра «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии»

А.Г. Васьков, В.Ю. Харитонов, П.С. Шуркалов

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ОСНОВНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Практикум
для студентов, обучающихся по направлению
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

ISBN 978-5-7046-3299-3

© А.Г. Васьков, В.Ю. Харитонов, П.С. Шуркалов, 2025
© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2025

УДК 621.311.243
ББК 31.637
В 19

*Утверждено учебным управлением НИУ «МЭИ»
в качестве учебного издания*

Подготовлено на кафедре гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии

Рецензенты: профессор, доктор техн. наук К.В. Суслов;
доцент кафедры электроснабжения и электротехники
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследова-
тельский технический университет» Е.В. Сердюкова

Васьков, А.Г.

В 19 Энергетические характеристики основного энергетического оборудования солнечных электростанций [Электронный ресурс]: практикум / А.Г. Васьков, В.Ю. Харитонов, П.С. Шуркалов. – Электрон. дан. – М.: Издательство МЭИ, 2025. – 1 электрон. опт. диск DVD-R.

Рассмотрены принципы построения и функционирования солнечных фотоэлектрических установок, включающих солнечные модули, регуляторы заряда, аккумуляторные батареи и инверторы. Приведено описание лабораторного стенда «EPH 2 Advanced Photovoltaics», его структуры, элементов и технических характеристик. Изложены методики экспериментального исследования энергетических характеристик фотоэлектрических модулей и инверторов при различных условиях освещенности, включая равномерное и частичное затенение.

Издание подготовлено на основе технической документации к лабораторному стенду «EPH 2 Advanced Photovoltaics».

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению «Электроэнергетика и электротехника».

Минимальные системные требования:

Тип ЭВМ: ПК на базе Pentium IV и выше.

ОС: Windows XP и выше.

Дополнительное программное обеспечение: Adobe Acrobat Reader, SCADA for PowerLab.

ISBN 978-5-7046-3299-3

© А.Г. Васьков, В.Ю. Харитонов, П.С. Шуркалов, 2025

© Национальный исследовательский университет «МЭИ», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Описание лабораторного стенда	6
1.1. Общие положения.....	6
1.2. Основные элементы лабораторного стенда.....	7
1.2.1. Учебная панель СО3301-3R «Модуль двойных сборных шин с фидерами»	7
1.2.2. Учебная панель СО5127-1S «Измеритель качества электроэнергии»	8
1.2.3. Учебная панель СО3208-1S «Промышленный фотоэлектрический инвертор»	10
1.2.4. Учебная панель СО3208-1F «Автономный инвертор».....	11
1.2.5. Учебная панель СО3208-1А «Модель солнечного модуля».....	12
1.2.6. Учебная панель СО3208-1М «Регулятор заряда»	13
1.2.7. Учебная панель СО3208-1Е «Солнечный аккумулятор»	15
1.2.8. Учебная панель СО3208-1К «Световая панель 12 В»	15
1.2.9. Учебная панель СО3208-1L «Световая панель 230 В»	16
1.2.10. Учебная панель СО5127-1Z «Аналого-цифровой мультиметр»	17
1.2.11. Учебная панель СО3208-1J «Блок нагрузки 500 Вт»	18
1.2.12. Учебная панель СО3211-1А «Подключение к сети».....	19
1.2.13. Учебная панель СО3208-1Н «Счетчик энергии»	20
1.2.14. Учебная панель СО3208-1G «Сетевой инверторный преобразователь»	21
1.2.15. Учебный модуль СО3208-1В	22
2. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных модулей при равномерном освещении	23
2.1. Общие положения.....	23
2.2. Исследование характеристик одиночной ФЭМ на примере СО3208-1А.....	24
2.3. Исследование характеристик одиночной ФЭМ на примере СО3208-1В.....	25
2.4. Исследование энергетических характеристик массивов параллельно и последовательно соединенных модулей	26
2.5. Обработка результатов.....	28
3. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных модулей в условиях частичного затенения	29
3.1. Общие положения.....	29
3.2. Исследование характеристик массива ФЭМ при затенении одного модуля	30
3.3. Исследование характеристик ФЭМ при неравномерном затенении всего массива.....	31

3.4. Обработка результатов.....	33
4. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных инверторов	34
4.1. Общие положения.....	34
4.2. Исследование автономного солнечного инвертора	34
4.3. Исследование сетевого солнечного инвертора	36
4.4. Обработка результатов.....	37
5. Контрольные вопросы.....	38
Заключение.....	39
Список литературы.....	40
Приложение А.....	41
Приложение Б	44

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность использования фотоэлектрических систем определяется рядом факторов, среди которых – условия окружающей среды, в которых система работает. Наибольшее влияние на работу фотоэлектрических модулей (ФЭМ) оказывает величина солнечного излучения, приходящего на их поверхность. При этом поверхность ФЭМ может быть освещена как равномерно, так и неравномерно ввиду частичного затенения, что в свою очередь приводит к изменению вида вольт-амперной характеристики. При моделировании режимов работы фотоэлектрических систем следует учитывать и технические характеристики используемого оборудования, в частности особое внимание должно уделяться оценке эффективности работы солнечного инвертора.

С целью знакомства с указанными выше особенностями фотоэлектрических систем в настоящем практикуме предлагаются к выполнению следующие лабораторные работы:

1. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных модулей при равномерном освещении.
2. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных модулей в условиях частичного затенения.
3. Экспериментальное исследование энергетических характеристик солнечных инверторов.

Практикум предназначен для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Основное энергетическое и вспомогательное оборудование электростанций на основе возобновляемых источников энергии».

1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

1.1. Общие положения

Лабораторный стенд «Фотоэлектрическая станция» или «EPH 2 Advanced Photovoltaics» состоит из 14 учебных панелей (модулей), каждая из которых является съемной. Положение панелей определяется при сборке стенда. В лаборатории НИУ «МЭИ» данный стенд представлен в конфигурации, изображенной на рис. 1.1.

1	2	3		4	
5		6	7	8	9
10	11	12	13	14	

Рис. 1.1. Конфигурация лабораторного стенда «Фотоэлектрическая станция»:

1 – CO3301-3R; 2 – CO5127-1S; 3 – CO3208-1S; 4 – CO3208-1F; 5 – CO3208-1A;
6 – CO3208-1M; 7 – CO3208-1E; 8 – CO3208-1K; 9 – CO3208-1L; 10 – CO5127-1Z;
11 – CO3208-1J; 12 – CO3211-1A; 13 – CO3208-1H; 14 – CO3208-1G

При работе с лабораторным стендом «Фотоэлектрическая станция» пользователь вынужден взаимодействовать с большим количеством разнообразного оборудования. Для облегчения сборки различных электрических цепей производителем введены цветовые обозначения узлов соединения. В комплект также входят соединительные проводники аналогичной расцветки.

При сборке электрических цепей рекомендуется использовать коммутационные провода соответствующего используемым разъемам цвета. Таким образом, облегчается процесс проверки и корректирования схем как преподавателем, так и студентом. Кроме того, подобный подход позволяет легко сориентироваться в исследуемой цепи в случае возникновения необходимости включения в нее дополнительных элементов, например, измерительных приборов.

Разъемы, расположенные на учебных панелях, могут быть разделены на 4 группы.

1. Однофазная сеть постоянного тока. Данной группе соответствуют два цвета: красный и черный. Красным обозначены фазный провод и «горячие» или входные разъемы, черным цветом промаркированы возвратные провода или «минуса» электрической цепи.

2. Однофазная сеть переменного тока. Этой группе также соответствуют два цвета. Фазный проводник и его соединительные разъемы обозначены коричневым цветом, а нулевой провод – синим.

3. Трехфазная сеть переменного тока. В данной группе используется следующая цветовая маркировка:

- Фаза 1 – коричневый цвет (аналогично однофазной сети переменного тока).

- Фаза 2 – черный цвет.

- Фаза 3 – серый цвет.

- Ноль – синий цвет (аналогично однофазной сети переменного тока).

4. Группа защитного РЕ-проводника. Данная группа проводников и разъемов выполнена пунктирной желто-зеленой маркировкой. Все используемые учебные панели, в которых предусмотрено заземление, должны быть заземлены при сборке исследуемых на лабораторном стенде цепей с целью обеспечения электробезопасности пользователей. В случае нарушения этого условия работа со стендом запрещена.

Для обеспечения электробезопасности большая часть учебных панелей лабораторного стенда также оборудована выключателями. Выключенному состоянию соответствует нижнее положение клавиши (в этом случае на верхней ее части можно увидеть знак «о»). При наличии питания на стенде и переводе выключателя в верхнее положение (соответствует знаку «I»), последний начнет светиться, указывая тем самым на включение учебной панели.

1.2. Основные элементы лабораторного стенда

1.2.1. Учебная панель СО3301-3R

«Модуль двойных сборных шин с фидерами»

Учебная панель СО3301-3R предназначена для моделирования трехфазной энергетической сети и подключения к ней. Вид на переднюю часть панели представлен на рис. 1.2.

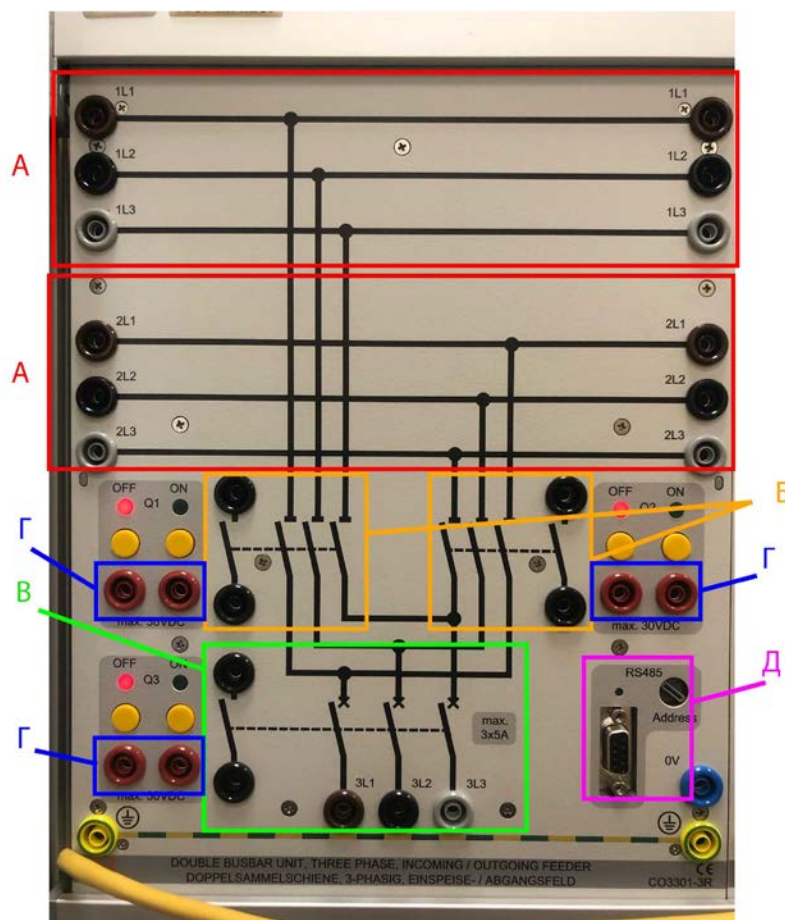


Рис. 1.2. Вид спереди на панель CO3301-3R:

А – сборные шины; Б – разъединители сборных шин; В – силовой выключатель;
Г – управляющие входы 24 В; Д – RS485 вход для шины с задаваемым адресом

Управление разъединителями «Б» и силовыми выключателями «В» осуществляется вручную при помощи кнопочных выключателей или подключенного дистанционного устройства. Имеющиеся у «Б» и «В» вспомогательные контакты предназначены для подключения дополнительных сигнальных устройств.

1.2.2. Учебная панель CO5127-1S «Измеритель качества электроэнергии»

Учебная панель CO5127-1S предназначена для индикации и измерения необходимых параметров моделируемой сети в одно-, двух- и трехфазном режиме. Вид на переднюю часть панели представлен на рис. 1.3.

В верхней части учебной панели (обозначение «А» на рис. 1.3) располагается модель четырехпроводной системы, которая оснащена разъемами для подключения модуля к исследуемой электрической системе.

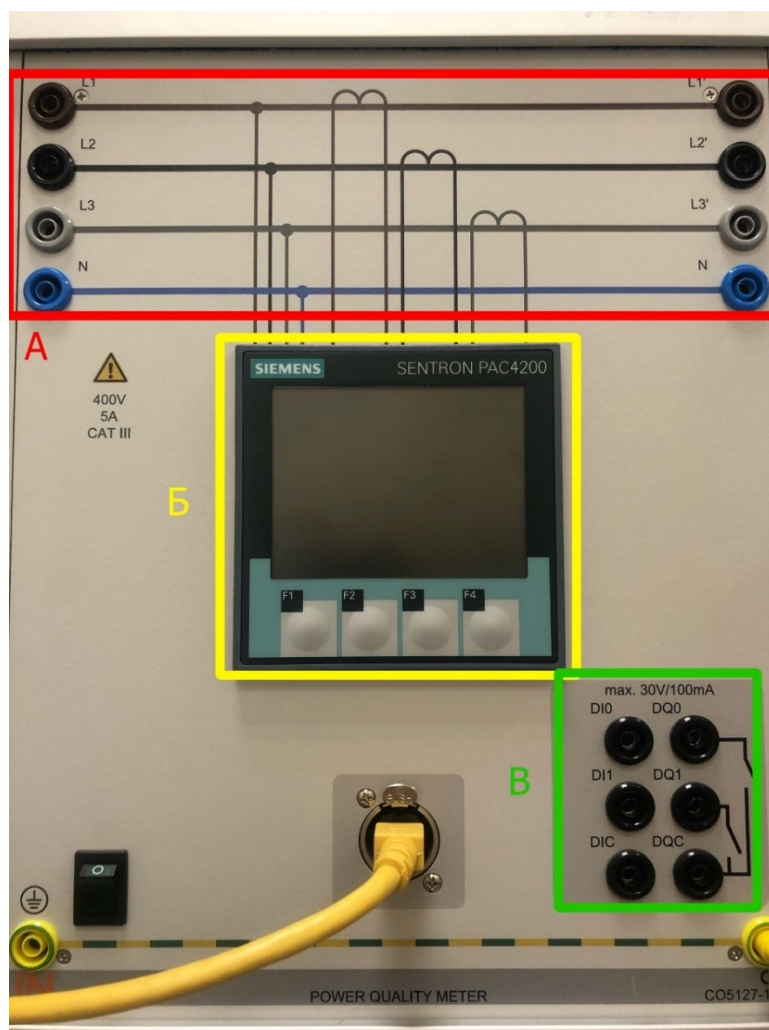


Рис. 1.3. Вид спереди на панель CO5127-1S:

А – модель четырехпроводной системы; Б – измерительное устройство SENTRON PAC4200; В – разъемы для подключения внешних элементов

В центре панели («Б») расположен трехфазный мультиметр, работа с которым осуществляется посредством контекстного меню, выводимого на ЖК-дисплей прибора, или с помощью интегрированного интерфейса Ethernet. Переключение позиций контекстного меню осуществляется с помощью кнопок, расположенных непосредственно под экраном мультиметра. Функционал устройства включает в себя возможность мониторинга нагрузки, регистрацию событий с привязкой ко времени, анализ и предупреждение аварий.

Подключение измерительного прибора к внешнему участку исследуемой цепи осуществляется посредством разъемов «В».

Подключение учебной панели к персональному компьютеру осуществляется через разъем Ethernet, расположенный непосредственно под мультиметром.

1.2.3. Учебная панель СО3208-1S «Промышленный фотоэлектрический инвертор»

Учебная панель СО3208-1S (см. рис. 1.4) позволяет смоделировать подключение фотоэлектрической установки к энергетической сети.

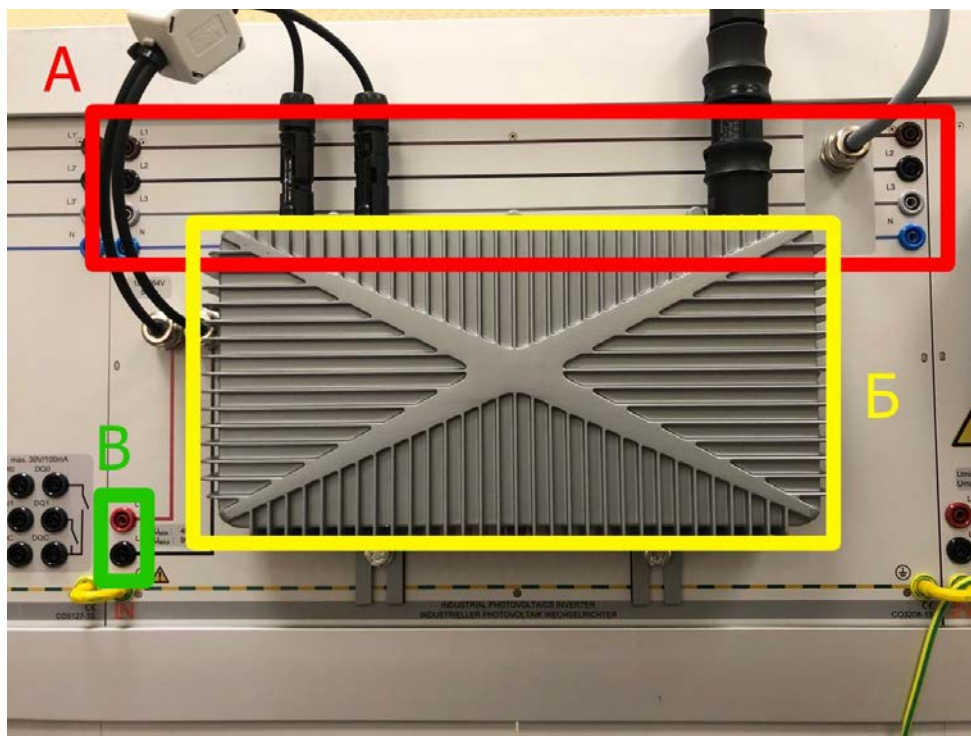


Рис. 1.4. Вид спереди на панель СО3208-1S:

А – четырехпроводная магистраль переменного тока; Б – промышленный сетевой инвертор; В – разъемы стороны постоянного тока

В верхней части учебной панели («А» на рис. 1.4) располагается модель четырехпроводной сети переменного тока и соответствующие разъемы для подключения к ней.

В центре панели («Б») располагается промышленный сетевой инвертор, технические характеристики которого представлены в табл. 1.1.

В нижней левой части панели («В») располагаются разъемы для подключения фотоэлектрической установки.

Таблица 1.1

Технические характеристики промышленного сетевого инвертора

Диапазон входного напряжения	40-80 В
Выходное напряжение	230 В / 50 Гц
Макс. входной ток	9 А
Макс. КПД	95 %
Выходная мощность	350 Вт

1.2.4. Учебная панель CO3208-1F «Автономный инвертор»

Учебная панель CO3208-1F используется при моделировании питания локального потребителя синусоидального переменного тока от источника постоянного тока. Фото учебной панели представлено на рис. 1.5, технические характеристики автономного инвертора «А» – в табл. 1.2.

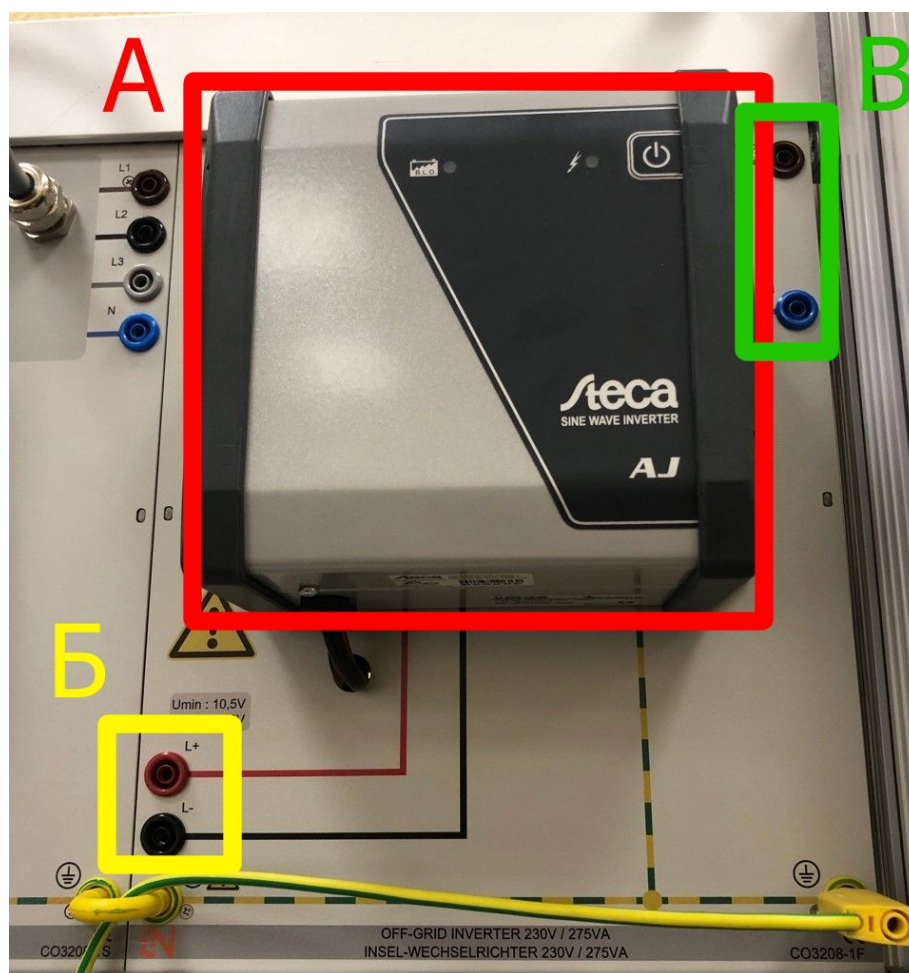


Рис. 1.5. Вид спереди на панель CO3208-1F:

А – автономный инвертор Steca AJ 275-12; Б – входные разъемы инвертора;
В – выходные разъемы инвертора

Таблица 1.2

Технические характеристики автономного инвертора Steca AJ-275-12

Диапазон входного напряжения	10,5-16 В
Выходное напряжение	230 В / 50 Гц (10 % / 0,05 %)
Макс. входной ток	9 А
Макс. КПД	93 %
Выходная мощность	275 ВА

В нижней левой части панели («Б») располагаются разъемы для подключения к инвертору источника постоянного тока (фотоэлектрической установки).

В верхней правой части («В») находится группа разъемов для подключения потребителя переменного тока.

Внимание! Не следует подключать к инвертору источник постоянного тока с напряжением, выходящим за пределы диапазона от $U_{\min} = 10,5$ В до $U_{\max} = 16$ В. Некорректная эксплуатация инвертора может привести к его поломке. Во избежание этого следует подключать учебную панель «Автономный инвертор» к нагрузочным выходам модуля СО3208-1М «Регулятор заряда» (см. п. 1.2.6).

1.2.5. Учебная панель СО3208-1А «Модель солнечного модуля»

Данная панель включает в себя блок аналоговых измерительных приборов (обозначение «А» на рис. 1.6) и три имитатора солнечных модулей (СМ) («Б»). Технические характеристики имитатора представлены в табл. 1.3.

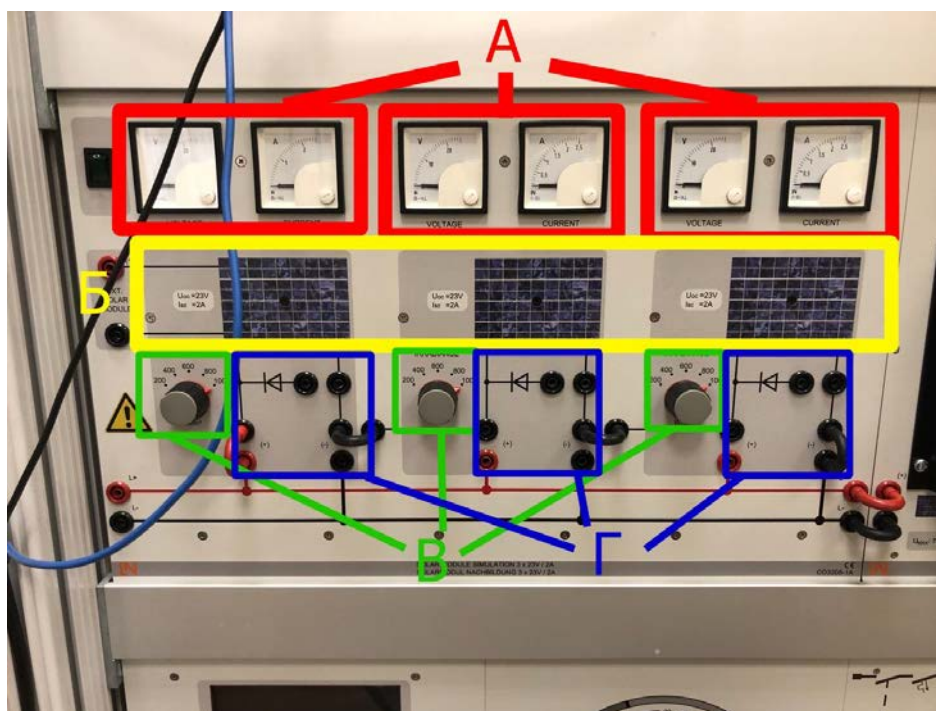


Рис. 1.6. Вид спереди на панель СО3208-1А:

А – блок аналоговых измерительных приборов; Б – имитаторы солнечных модулей; В – регуляторы интенсивности солнечного излучения; Г – коммутационные разъемы

Аналоговые измерительные приборы расположены в верхней части учебной панели («А»). Каждому «имитируемому» ФЭМ соответствует один амперметр и один вольтметр. Измерительная шкала амперметра представлена диапазоном от 0 до 2,5 А с ценой деления в 0,1 А. Измерительная шкала вольтметра имеет диапазон от 0 до 25 В с ценой деления в 1 В.

Таблица 1.3

Технические характеристики имитатора солнечного модуля

Напряжение холостого хода	23 В
Макс. ток короткого замыкания	2 А
Регулируемая сила излучения	20 % ... 100 %
Выходная мощность	40 ВА
Рабочее напряжение и частота переменного тока	88 ... 264 В, 47 ... 63 Гц

Имитаторы солнечных модулей («Б») позволяют смоделировать их выработку при интенсивности солнечного излучения 200, 400, 600, 800 и 1000 Вт/м². Для этого под каждым имитатором имеется свой круговой регулятор («В»). Для выбора интересующего значения интенсивности необходимо повернуть ручку по или против часовой стрелки так, чтобы стрелка регулятора оказалась напротив соответствующего значения интенсивности солнечного излучения.

Рядом с регуляторами интенсивности («Г») располагаются разъемы для:

- подключения к имитируемым ФЭМ байпасных диодов (например, с помощью 4 мм перемычек);
- объединения солнечных модулей в массив;
- подключения ФЭМ или массива ФЭМ к исследуемой электрической цепи.

1.2.6. Учебная панель СО3208-1М «Регулятор заряда»

Основным элементом учебной панели СО3208-1М является регулятор (контроллер) заряда Steca Solarix MPPT 1010, который расположен в ее центре (см. «Б» на рис. 1.7). Технические характеристики контроллера заряда приведены в табл. 1.4.

В верхней части учебной панели («А») расположены следующие аналоговые измерительные приборы:

- амперметр измеряет ток в диапазоне от 0 до 10 А. Цена деления измерительной шкалы составляет 1 А;
- вольтметр измеряет напряжение в диапазоне от 0 до 25 В. Цена деления – 1 В.

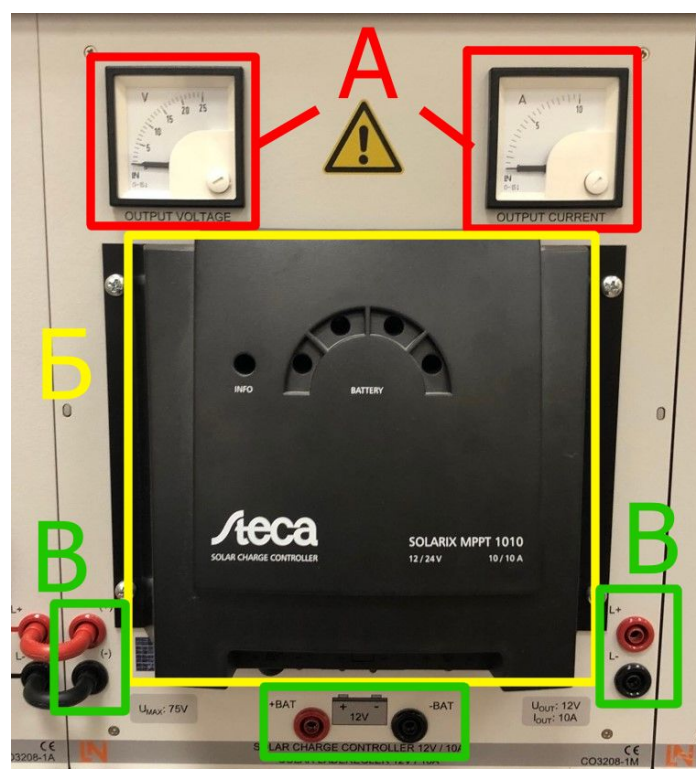


Рис. 1.7. Вид спереди на панель CO3208-1М:

А – аналоговые измерительные приборы; Б – контроллер заряда Steca Solarix MPPT 1010; В – коммутационные разъемы

Таблица 1.4

Технические характеристики контроллера заряда Steca Solarix MPPT 1010

Диапазон входного напряжения	15-75 В
Макс. входной ток	9 А
Выходное напряжение	12 В
Номинальная мощность	125 Вт
Макс. КПД	98,3 %
Ток заряда батареи	10 А
Напряжение заряда аккумуляторной батареи	14 А

В нижней части панели расположены три группы коммутационных разъемов («В»). Левая группа разъемов предназначена для подключения объекта солнечной генерации (в качестве источника может быть использован модуль СО3208-1А или СО3208-1В). Средняя группа – для подключения аккумуляторной батареи (см. описание модуля СО3208-1Е «Солнечный аккумулятор» в п. 1.2.7). Правая группа – это выходные разъемы контроллера заряда.

1.2.7. Учебная панель СО3208-1Е «Солнечный аккумулятор»

Лабораторный модуль (см. рис. 1.8) предназначен для знакомства с ролью аккумуляторов электроэнергии в автономных энергетических системах на основе возобновляемых источников энергии.

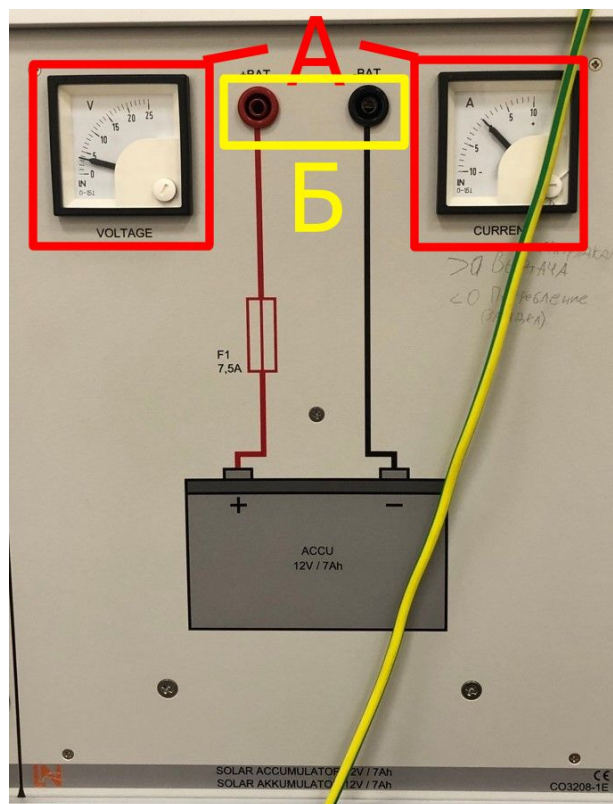


Рис. 1.8. Вид спереди на панель СО3208-1Е:

А – аналоговые измерительные приборы; Б – коммутационные разъемы

Свинцовый гелевый аккумулятор напряжением 12 В и емкостью 7 А·ч интегрирован непосредственно в учебную панель.

Аналоговые измерительные приборы расположены в верхней части панели («А»):

- диапазон измерения амперметра – от -10 до 10 А, цена деления – 1 А;
- диапазон измерения вольтметра – от 0 до 25 В, цена деления – 1 В.

Для подключения модуля к другим элементам лабораторного стенда в верхней его части предусмотрены коммутационные разъемы («Б»).

1.2.8. Учебная панель СО3208-1К «Световая панель 12 В»

Учебная панель СО3208-1К включает в себя две, рассчитанные на 12 В, лампы: галогенную и светодиодную (см. «А» и «Б» на рис. 1.9 соответственно). Назначение модуля – моделирование нагрузки постоянного тока, однако он также может быть использован для наглядной демонстрации работоспособности электрической цепи.



Рис. 1.9. Вид спереди на панель CO3208-1K:

А – галогенная лампа; Б – светодиодная лампа; В – коммутационные разъемы

Для подключения лабораторного модуля к исследуемой электрической цепи постоянного тока в нижнем левом углу предусмотрены соответствующие разъемы («В»).

1.2.9. Учебная панель CO3208-1L «Световая панель 230 В»

Блок потребителей, рассчитанных на 230 В (см. рис. 1.10), предназначен для моделирования нагрузки переменного тока и используется для исследования работы инверторного оборудования. Также лабораторный модуль может быть использован для наглядной демонстрации работоспособности электрической цепи.

На учебной панели CO3208-1L представлены три электрические лампы: накаливания, энергосберегающая и светодиодная.

Разъемы для подключения панели к исследуемой электрической цепи расположены в верхнем левом углу.

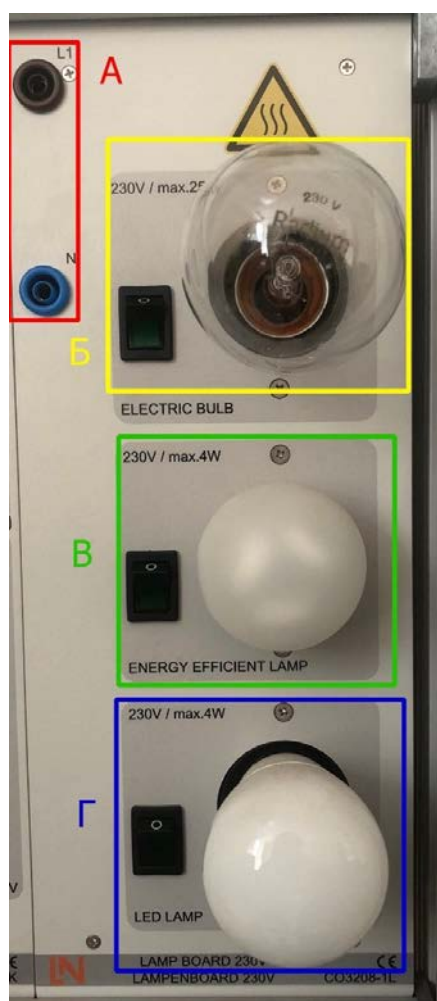


Рис. 1.10. Вид спереди на панель CO3208-1L:

А – коммутационные разъемы; Б – лампа накаливания; В – энергосберегающая лампа; Г – светодиодная лампа

1.2.10. Учебная панель CO5127-1Z «Аналого-цифровой мультиметр»

Для получения необходимых экспериментальных данных в структуру стенда включен модуль аналогово-цифрового мультиметра (см. рис. 1.11), который не только позволяет отслеживать выводимые на дисплей «А» показатели, но и регистрировать их при помощи персонального компьютера (ПК) посредством интерфейсов USB и RS232.

Навигация в контекстном меню и настройка режимов работы прибора осуществляется органами управления «В». Интересующие величины, которые необходимо вывести на дисплей выбираются при помощи клавиш «Б».

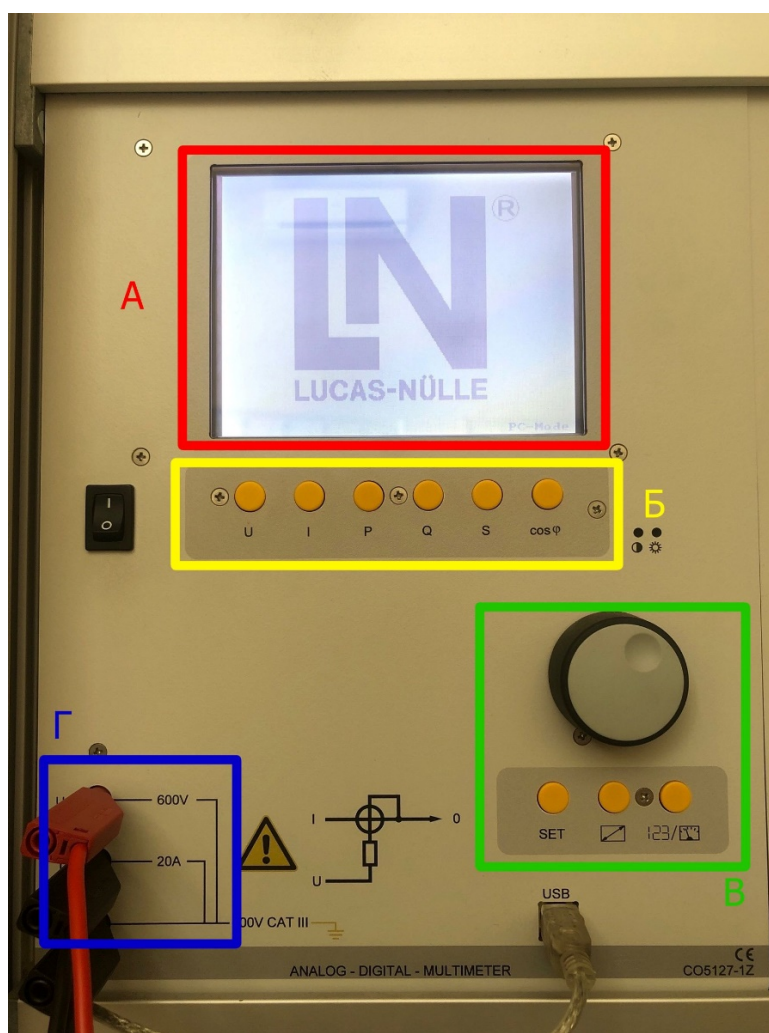


Рис. 1.11. Вид спереди на панель CO5127-1Z:

А – дисплей; Б – клавиши управления вывода характеристик; В – органы управления меню настройки; Г – разъемы для подключения

1.2.11. Учебная панель CO3208-1J «Блок нагрузки 500 Вт»

Для исследования энергетических характеристик ФЭМ необходимо смоделировать работу в большом диапазоне нагрузок. Для этого в составе лабораторного стенда предусмотрен модуль реостата CO3208-1J (см. рис. 1.12).

На данной панели в нижней части расположены разъемы для подключения потенциометра в цепь, а над ними ручка для его регулирования. Переключение нагрузки осуществляется плавным вращением рукоятки по или против часовой стрелки. Нанесенная на поверхность панели шкала значений имеет диапазон от 0 Ом до 1 кОм. Во время работы с данным оборудованием необходимо следить за показаниями амперметра, чтобы не допустить работы потенциометра в диапазоне недопустимых нагрузок по току. Для простоты контроля и удобства работы шкала значений разбита на три части:

1. От 0 до 50 Ом для рабочего тока не более 6 А.
2. От 50 до 200 для рабочего тока не более 2 А.
3. От 200 Ом до 1 кОм для рабочего тока менее 0,6 А.



Рис. 1.12. Вид спереди на панель CO3208-1J

1.2.12. Учебная панель CO3211-1A «Подключение к сети»

Учебная панель, представленная на рис. 1.13, является соединительным модулем между общей сетью питания и сетевым инвертором.

Установленные на панели защитный автомат и световая индикация, позволяют в рамках работы на стенде отследить, предупредить и отключить опасные режимы работы.

Группа коммутационных контактов в верхней части модуля позволяет подключить его к исследуемой электрической сети.



Рис. 1.13. Вид спереди на панель CO3211-1A

1.2.13. Учебная панель CO3208-1H «Счетчик энергии»

Учебная панель «Счетчик энергии», оборудованная счетчиком ELV Energy Master Expert, позволяет производить замеры небольших масс энергии, возникающих в ходе проведения лабораторных работ, а также других величин (см. рис. 1.14). Позволяет собрать данные о потреблении и стоимости электроэнергии за указанный временной промежуток.



Рис. 1.14. Вид спереди на панель CO3208-1H

Две пары разъемов, расположенные в верхней части учебного модуля, обеспечивают возможность включения устройства в исследуемую электрическую цепь.

1.2.14. Учебная панель CO3208-1G «Сетевой инверторный преобразователь»

Данная панель функционально является аналогом учебной панели CO3208-1S (см. п. 1.2.3). Фото панели CO3208-1G представлено на рис. 1.15, технические характеристики сетевого инвертора – в табл. 1.5.



Рис. 1.15. Вид спереди на панель CO3208-1G

Таблица 1.5

Технические характеристики сетевого инвертора

Диапазон входного напряжения	45-130 В
Выходное напряжение	230 В / 50 Гц
Макс. КПД	95 %
Выходная мощность	300 Вт

В верхней части учебной панели располагается модель двухпроводной сети переменного тока и разъемы для подключения.

В центре учебной панели располагается блок контроля с автоматическим свободным положением включения, сетевой инвертор и штепсельное гнездо для вилки внешнего оборудования. Снизу слева располагаются разъемы для подключения предполагаемой фотоэлектрической генерации.

1.2.15. Учебный модуль СО3208-1В

Данный учебный модуль не является встраиваемой в лабораторный стенд панелью, а представляет собой самостоятельную внешнюю установку (см. рис. 1.16). СО3208-1В является мобильным, его каркас оборудован колесами, что обеспечивает простое перемещение модели по лаборатории и устойчивость при работе. На рамной конструкции закреплена реальная фотоэлектрическая панель и регулируемый галогенный излучатель мощностью 500 Вт, способный имитировать условия естественного освещения ФЭП при STC, т.е. $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$.



Рис. 1.16. Фото выносного учебного модуля СО3208-1В

Для исследования различных сценариев облучения учебный модуль позволяет регулировать наклон модуля, высоту Солнца, устанавливать значение солнечного азимута.

На боковой части крепления фотоэлектрического модуля расположены разъемы для подключения установки к другому оборудованию стенда посредством проводников.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ ПРИ РАВНОМЕРНОМ ОСВЕЩЕНИИ

2.1. Общие положения

Цель работы: исследовать методы компоновки отдельных солнечных модулей, зависимость энергетических характеристик от освещенности единичных и объединенных в массивы ФЭМ.

Продолжительность: 45 минут.

Перечень оснащения и оборудования: лабораторный стенд «Фотоэлектрическая станция» (EPH 2 Advanced Photovoltaics) – учебные модули СО3208-1А «Имитация солнечного модуля», СО3208-1В «Реальный солнечный модуль», СО5127-1Z «Аналого-цифровой мультиметр», СО3208-1J «Блок нагрузки 500 Вт».

Предварительное задание: ознакомившись с рекомендуемой литературой, выполните расчет напряжения холостого хода и тока короткого замыкания массивов из трех последовательно соединенных и трех параллельно соединенных ФЭМ, если известно, что при STC каждый элемент имеет следующие характеристики: $U_{xx} = 23 \text{ В}$ и $I_{кз} = 2 \text{ А}$.

Задания: построить вольт-амперные (ВА) и мощностные характеристики одиночного СМ и вариаций компоновок для разных значений освещенности. Проанализировать полученные экспериментальные данные и сравнить с теоретическим расчетом показателей в рамках предварительного задания.

Порядок и методика выполнения заданий: возможности лабораторного стенда позволяют получать искомые энергетические характеристики исследуемой ФЭМ в автоматизированном режиме с помощью прилагаемого компьютерного программного обеспечения. Краткое обучение по настройке и работе представлено в приложении Б. Программа-самописец «Х/У-Плоттер» позволяет в реальном времени регистрировать необходимые значения, а также предоставляет возможность сохранить результаты проводимого эксперимента как в графическом, так и в текстовом формате.

Перед началом работы с целью обеспечения безопасности необходимо убедиться в том, что стенд отключен от внешнего питания (все автоматические выключатели учебных модулей отключены).

Исследование энергетических характеристик одиночного СМ может выполняться как при помощи модуля СО3208-1А, так и СО3208-1В, поэтому в рамках данной работы предлагаются оба варианта. Для случая массива ФЭМ возможно использование только учебной панели СО3208-1А.

2.2. Исследование характеристик одиночной ФЭМ на примере СО3208-1А

1. Используя набор проводников, соедините устройства и блоки в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.1.

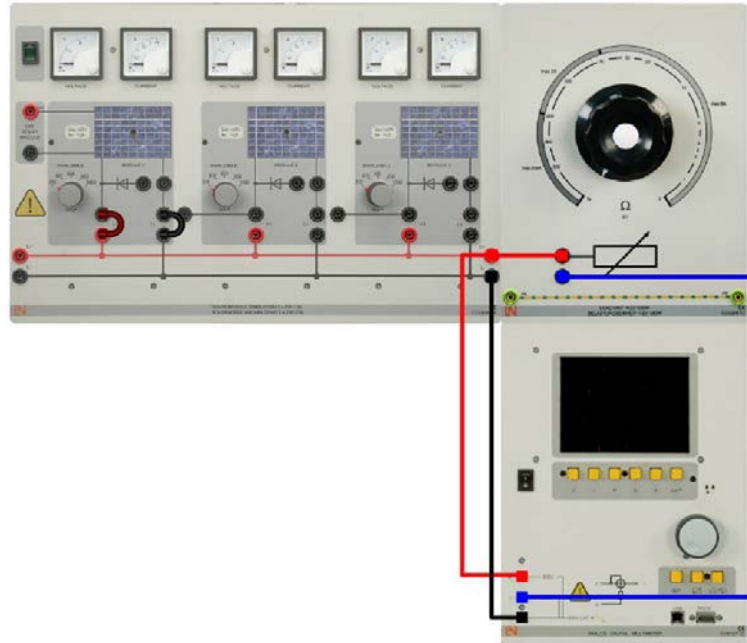


Рис. 2.1. Схема подключения одного ФЭМ при использовании СО3208-1А

2. Установите регулятор освещенности используемого модуля блока имитаторов в положение $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$.

3. Переведите рукоять блока нагрузки в крайнее левое положение, повернув ее против часовой стрелки.

4. После проверки правильности сборки схемы включите стенд, переводя выключатели соответствующих учебных модулей в положение «On».

5. Настройте программу-самописец «X/Y-Плоттер» и запустите процесс регистрации данных, нажав кнопку «REC». Рекомендуемые настройки представлены в табл. 2.1.

Рекомендуется впоследствии не менять настройки программы для удобства обработки и анализа полученных данных.

6. Медленно и плавно вращая регулировочную рукоять потенциометра, изменяйте напряжение и ток на нагрузке ФЭМ. Построение исследуемых энергетических характеристик солнечного модуля будет отображаться в режиме реального времени.

7. Переведя рукоять нагрузки в крайнее правое положение, завершите процесс регистрации данных самописцем, повторно нажав на кнопку REC в диалоговом окне программы.

Набор рекомендуемых настроек программы «Х/У-Плоттер»

Ось	Параметр	Максимум	Градуировка
X	Urms	75 В	5 В
Y	Irms	6,5 А	0,2 А
Y	P	200 Вт	10 Вт

8. Повторите опыт для других значений интенсивности излучения, например, для $E = 800 \text{ Вт/м}^2$ и $E = 600 \text{ Вт/м}^2$, выставив соответствующее значение регулятора освещенности. Для наглядности и удобства выполнения работы рекомендуется не очищать поле регистрации данных программы-самописца, а использовать то же самое.

9. После окончания работы с оборудованием отключите внешнее питание стенда, переведя выключатели используемых учебных модулей в положение «Off».

2.3. Исследование характеристик одиночной ФЭМ на примере СО3208-1В

1. Используя набор проводников, соедините устройства и блоки в соответствии со схемой, приведенной на рис. 2.2.

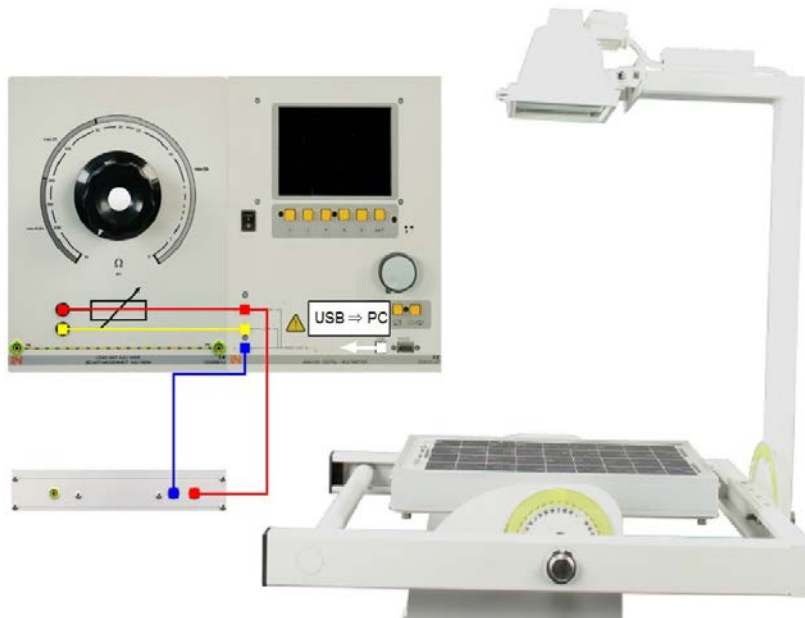


Рис. 2.2. Схема подключения одного ФЭМ при использовании СО3208-1В

2. Установите регулировочный ползунок регулятора освещенности блока питания осветительной лампы в положение $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$. Установите фотоэлектрический модуль под углом 90 градусов к световым лучам, испускаемым прожектором.

3. Переведите рукоять блока нагрузки в крайнее левое положение, повернув ее против часовой стрелки.

4. После проверки правильности сборки схемы включите стенд, переводя выключатели соответствующих учебных модулей в положение «On».

5. Настройте программу-самописец «X/Y-Плоттер» и запустите процесс регистрации данных, нажав кнопку «REC». Рекомендуемые настройки представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Набор рекомендуемых настроек программы «X/Y-Плоттер»

Ось	Параметр	Максимум	Градуировка
X	U _{rms}	75 В	5 В
Y	I _{rms}	6,5 А	0,2 А
Y	P	200 Вт	10 Вт

6. Медленно и плавно вращая регулировочную рукоять потенциометра, изменяйте напряжение и ток на нагрузке ФЭМ. Построение исследуемых энергетических характеристик солнечного модуля будет отображаться в режиме реального времени.

7. Переведя рукоять нагрузки в крайнее правое положение, завершите процесс регистрации данных самописцем, повторно нажав на кнопку «REC» в диалоговом окне программы.

8. Повторите опыт для других значений интенсивности излучения, например, для $E = 800 \text{ Вт/м}^2$ и $E = 600 \text{ Вт/м}^2$, выставив соответствующее значение регулятора освещенности. Для наглядности и удобства выполнения работы рекомендуется не очищать поле регистрации данных программы-самописца, а использовать то же самое.

9. После окончания работы с оборудованием отключите прожектор учебного модуля СО3208-1В. Отключите внешнее питание стенда, переводя выключатели используемых учебных модулей в положение «Off».

2.4. Исследование энергетических характеристик массивов параллельно и последовательно соединенных модулей

1. Используя набор проводников, соедините устройства и блоки для получения схемы последовательного соединения трех солнечных модулей. Она изображена на рис. 2.3.

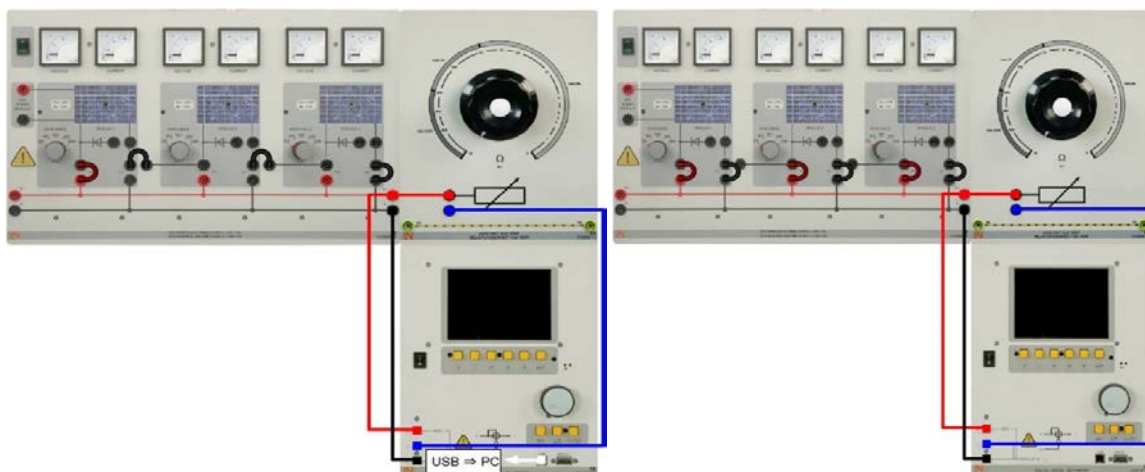


Рис. 2.3. Схема последовательного (слева) и параллельного (справа) подключения трех ФЭМ в составе массива

2. Установите регуляторы освещенности модулей блока имитаторов в положение $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$.

3. Переведите рукоять блока нагрузки в крайнее левое положение, повернув ее против часовой стрелки.

4. После проверки правильности сборки схемы включите стенд, переводя выключатели соответствующих учебных модулей в положение «On».

5. Настройте программу-самописец «X/Y-Плоттер» и запустите процесс регистрации данных, нажав кнопку «REC». Рекомендуемые настройки представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Набор рекомендуемых настроек программы «X/Y-Плоттер»

Ось	Параметр	Максимум	Градировка
X	U_{rms}	75 В	5 В
Y	I_{rms}	6,5 А	0,2 А
Y	P	200 Вт	10 Вт

Рекомендуется впоследствии не менять настройки программы для удобства обработки и анализа полученных данных.

6. Медленно и плавно вращая регулировочную рукоять потенциометра, изменяйте напряжение и ток на нагрузке ФЭМ. Построение исследуемых энергетических характеристик солнечного модуля будет отображаться в режиме реального времени.

7. Переведя рукоять нагрузки в крайнее правое положение, завершите процесс регистрации данных самописцем, повторно нажав на кнопку «REC» в диалоговом окне программы.

8. Повторите опыт для других значений интенсивности излучения, например, для $E = 800 \text{ Вт/м}^2$ и $E = 600 \text{ Вт/м}^2$, выставив соответствующее значения регуляторов освещенности. Для наглядности и удобства выполнения работы рекомендуется не очищать поле регистрации данных программы-самописца, а использовать то же самое.

9. Повторите опыт для схемы параллельного соединения трех СМ.

10. После окончания работы с оборудованием отключите внешнее питание стенда, переведя выключатели используемых учебных модулей в положение «Off».

2.5. Обработка результатов

Отчет: при выполнении отчета о лабораторном исследовании рекомендуется воспользоваться формой, приведенной в приложении Б. Используя полученные данные:

- сравните результаты теоретического расчета предварительного задания со смоделированными на стенде;
- постройте на одном графике и сравните характеристики одиночных ФЭМ, определите и тезисно опишите характерные различия между ними;
- сделайте выводы о влиянии освещенности E на характеристики фотоэлектрических элементов.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ МОДУЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЧАСТИЧНОГО ЗАТЕНЕНИЯ

3.1. Общие положения

Цель работы: исследовать влияние явления затенения на работу фотоэлектрических массивов, на их электрические характеристики, исследовать влияние установки байпасных диодов.

Продолжительность: 45 мин.

Перечень оснащения и оборудования: лабораторный стенд «Фотоэлектрическая станция» (EPH 2 Advanced Photovoltaics) – учебные модули СО3208-1А «Имитация солнечного модуля», СО5127-1Z «Аналого-цифровой мультиметр», СО3208-1J «Блок нагрузки 500 Вт».

Рекомендуемая литература: выполнение данной работы необходимо и важно проводить после выполнения экспериментального исследования 1, описанного в главе 2, так как она является его фактическим логическим продолжением. Важно ознакомиться с описанием используемого оборудования для корректного включения в цепь байпасных диодов.

Предварительное задание: качественно изобразите графики вольт-амперных характеристик для следующих случаев:

1) массив из трех последовательно соединенных модулей. Для всех панелей кроме одной освещенность составляет 1000 Вт/м^2 . Последний элемент имеет показатель 600 Вт/м^2 ;

2) массив из трех последовательно соединенных модулей. Для первой освещенность составляет 800 Вт/м^2 , второй – 1000 Вт/м^2 , а последний элемент имеет показатель 600 Вт/м^2 ;

3) аналогично пунктам 1 и 2 для трех параллельно соединенных ФЭМ.

Задания: построить ВА и мощностные характеристики массивов последовательно и параллельно соединенных СМ в условиях частичной и неравномерной освещенности. Проанализировать полученные экспериментальные данные и сделать выводы о работе ФЭМ при затенении и влиянии байпасных диодов на работу системы.

Порядок и методика выполнения заданий: искомые энергетические характеристики исследуемого массива будут получены при помощи уже знакомого компьютерного программного обеспечения, а именно «Х/У-Плоттер». Программа-самописец позволит в реальном времени зарегистрировать необходимые значения, а также наглядно продемонстрирует работу ФЭМ в заданных условиях.

Перед началом работы с целью обеспечения безопасности необходимо убедиться в том, что стенд отключен от внешнего питания (все автоматические выключатели учебных модулей отключены).

3.2. Исследование характеристик массива ФЭМ при затенении одного модуля

1. Используя набор проводников, соедините устройства и блоки в соответствии со схемой последовательного подключения, приведенной на рис. 3.1.

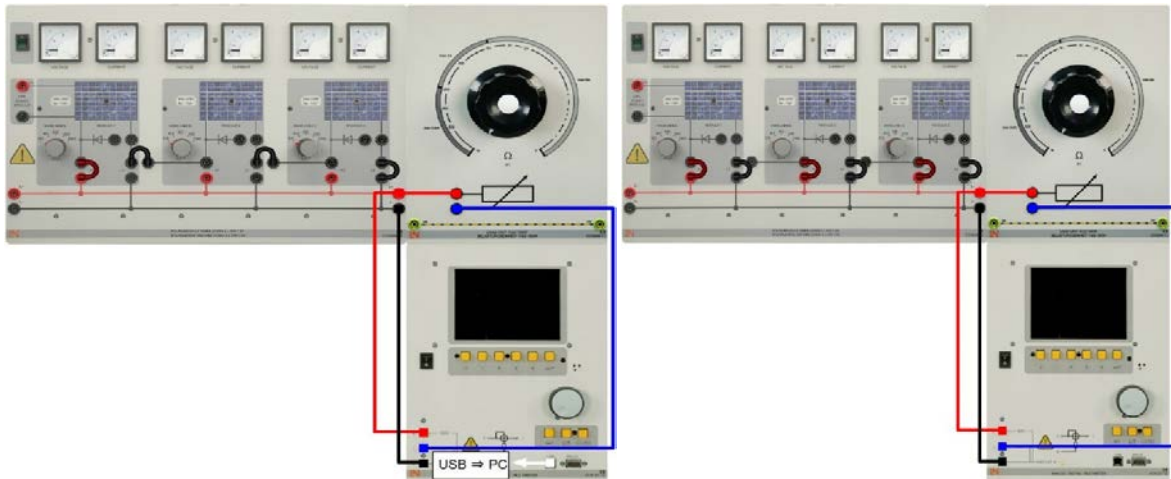


Рис. 3.1. Схема последовательного (слева) и параллельного (справа) подключения трех ФЭМ в составе массива

2. Установите регуляторы освещенности модулей блока имитаторов в положение $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$ кроме, например, первого. Его переведите в положение $E = 600 \text{ Вт/м}^2$.

3. Переведите рукоятку блока нагрузки в крайнее левое положение, повернув ее против часовой стрелки.

4. После проверки правильности сборки схемы включите стенд, переводя выключатели соответствующих учебных модулей в положение «On».

5. Настройте программу-самописец «X/Y-Плоттер» и запустите процесс регистрации данных, нажав кнопку «REC». Рекомендуемые настройки представлены в табл. 3.1.

Рекомендуется впоследствии не менять настройки программы для удобства обработки и анализа полученных данных.

6. Медленно и плавно вращая регулировочную рукоятку потенциометра, изменяйте напряжение и ток на нагрузке ФЭМ. Построение исследуемых энергетических характеристик солнечного модуля будет отображаться в режиме реального времени.

Набор рекомендуемых настроек программы «Х/У-Плоттер»

Ось	Параметр	Максимум	Градировка
X	U_{rms}	75 В	5 В
Y	I_{rms}	6,5 А	0,2 А
Y	P	200 В	7 В

7. Переведя рукоять нагрузки в крайнее правое положение, завершите процесс регистрации данных самописцем, повторно нажав на кнопку REC в диалоговом окне программы.

8. Повторите опыт для другого случая затенения, например, для третьего модуля цепи при $E = 800 \text{ Вт/м}^2$, выставив соответствующее значение регуляторов освещенности. Для удобства дальнейшего чтения и анализа собираемых данных в этом случае рекомендуется не допускать выполнения повторных опытов на том же полотне самописца.

9. Повторите опыт для схемы параллельного соединения трех СМ.

10. После окончания работы с оборудованием отключите внешнее питание стенда, переведя выключатели используемых учебных модулей в положение «Off».

3.3. Исследование характеристик ФЭМ при неравномерном затенении всего массива

1. Используя набор проводников, соедините устройства и блоки в соответствии со схемой последовательного подключения, приведенной на рис. 3.2.

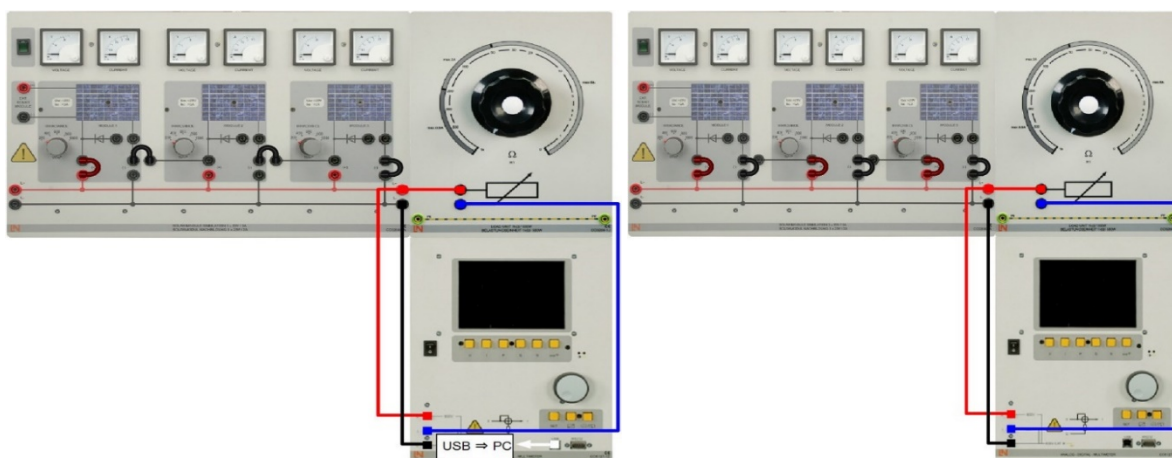


Рис. 3.2. Схема последовательного (слева) и параллельного (справа) подключения трех ФЭМ в составе массива

2. Установите регуляторы освещенности модулей блока имитаторов в положение $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$ кроме, например, первого. Его переведите в положение $E = 600 \text{ Вт/м}^2$.

3. Переведите рукоять блока нагрузки в крайнее левое положение, повернув ее против часовой стрелки.

4. После проверки правильности сборки схемы включите стенд, переводя выключатели соответствующих учебных модулей в положение «On».

5. Настройте программу-самописец «X/Y-Плоттер» и запустите процесс регистрации данных, нажав кнопку «REC». Рекомендуемые настройки представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Набор рекомендуемых настроек программы «X/Y-Плоттер»

Ось	Параметр	Максимум	Градуировка
X	U _{rms}	75 В	5 В
Y	I _{rms}	6,5 А	0,2 А
Y	P	200 Вт	10 Вт

Рекомендуется впоследствии не менять настройки программы для удобства обработки и анализа полученных данных.

6. Медленно и плавно вращая регулировочную рукоять потенциометра, изменяйте напряжение и ток на нагрузке ФЭМ. Построение исследуемых энергетических характеристик солнечного модуля будет отображаться в режиме реального времени.

7. Переведя рукоять нагрузки в крайнее правое положение, завершите процесс регистрации данных самописцем, повторно нажав на кнопку REC в диалоговом окне программы.

8. Повторите опыт для другого случая затенения, например, для третьего модуля цепи при $E = 800 \text{ Вт/м}^2$, выставив соответствующее значение регуляторов освещенности. Для удобства дальнейшего чтения и анализа собираемых данных в этом случае рекомендуется не допускать выполнения повторных опытов на том же полотне самописца.

9. Обесточьте стенд. Внесите изменения в схему в соответствии с рис. 3.3, включив параллельно фотоэлектрическим элементам байпасные диоды.

10. Аналогично проведите опыты для схемы параллельного соединения трех солнечных модулей.

11. После окончания работы с оборудованием отключите внешнее питание стенда, переведя выключатели используемых учебных модулей в положение «Off».

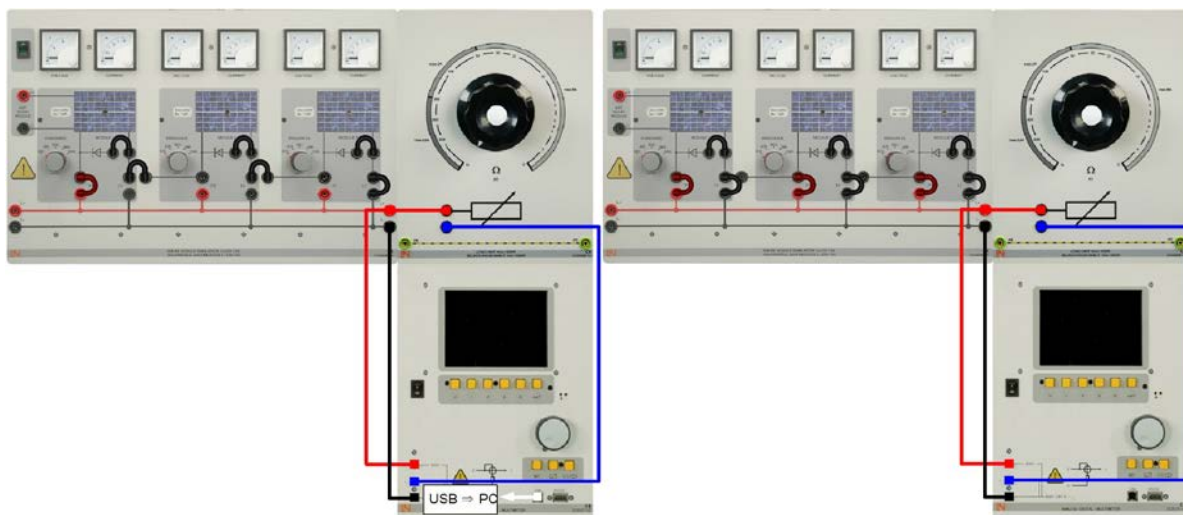


Рис. 3.3. Схема последовательного (слева) и параллельного (справа) подключения трех ФЭМ в составе массива с включенными байпасными диодами

3.4. Обработка результатов

Отчет: при выполнении отчета о лабораторном исследовании рекомендуется воспользоваться формой, приведенной в приложении Б. Используя полученные данные:

- сравните результаты с данными, полученными в экспериментальном исследовании 1, сделайте выводы о влиянии частичного затенения на работу массива;
- постройте на одном графике и сравните электрические характеристики массивов с и без байпасных диодов, тезисно опишите влияние данного элемента на работу массива в условиях частичного затенения.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЛНЕЧНЫХ ИНВЕРТОРОВ

4.1. Общие положения

Цель работы: исследовать зависимость эффективности солнечного инвертора в зависимости от его загрузки.

Продолжительность: 45 минут.

Перечень оснащения и оборудования: лабораторный стенд «Фотоэлектрическая станция» (EPH 2 Advanced Photovoltaics) – учебные модули СО5127-1Z «Аналого-цифровой мультиметр», персональный компьютер.

Рекомендуемая литература: выполнение данной работы необходимо и важно проводить после экспериментальных исследований 1 и 2, описанных в главах 2 и 3, так как в ходе них происходит знакомство с энергетическими характеристика фотоэлектрических преобразователей в различных условиях работы. Такой подход облегчит не только процесс проведения эксперимента, но и восприятие материала.

Предварительное задание: изучить лекционный материал по вопросам использования полупроводниковых преобразователей в солнечных электростанциях.

Задания: построить рабочую характеристику (зависимость эффективности от загрузки) автономного и сетевого солнечного инвертора.

Порядок и методика выполнения заданий: искомые энергетические характеристики будут получены при работе автономного и сетевого солнечного инвертора при разной величине его загрузки.

Перед началом работы с целью обеспечения безопасности необходимо убедиться в том, что стенд отключен от внешнего питания (все автоматические выключатели учебных модулей отключены).

4.2. Исследование автономного солнечного инвертора

1. Используя набор проводников, соедините устройства и блоки в соответствии со схемой подключения, приведенной на рис. 4.1.

2. На каждом из имитаторов фотоэлектрического преобразователя установите регулятор освещенности в положение $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$.

3. После проверки правильности сборки схемы включите стенд, переводя выключатели соответствующих учебных модулей в положение «On».

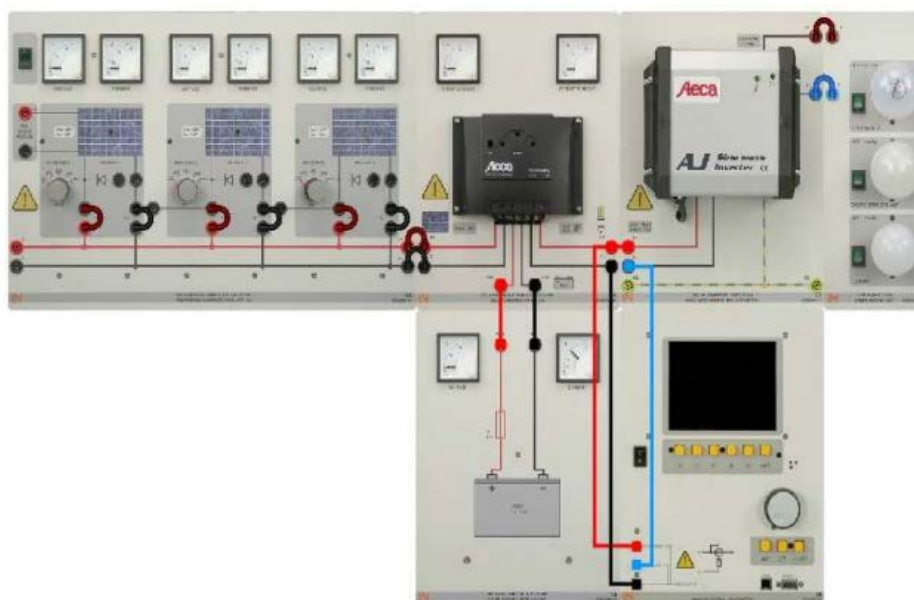


Рис. 4.1. Схема проведения эксперимента по снятию рабочей характеристики автономного солнечного инвертора. Снятие параметров работы инвертора со стороны переменного тока

4. Для получения откройте в меню Приборы виртуальный инструмент «Осциллограф» аналогово-цифрового мультиметра. Для установки параметров кликните на кнопку «Config-Button» (кнопку конфигурации), выберите значения, указанные в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Набор рекомендуемых настроек программы «Осциллограф»

Параметр	Интервал
Напряжение	300 В
Ток	1 А

Запустите осциллограф на канале «U» и зафиксируйте форму кривой напряжения. Удостоверьтесь в синусоидальной форме напряжения со стороны переменного тока инвертора.

5. Используя набор проводников, соедините устройства и блоки в соответствии со схемой подключения, приведенной на рис. 4.2. Для дальнейших экспериментов дополнительно подключите к нагрузке переменного тока реостат.

6. Измеряйте ток и напряжение со стороны постоянного и переменного тока при следующих условиях, изменяя значение сопротивления реостата, начиная от 1000 Ом, при различных значениях интенсивности солнечного света с шагом 200 Вт/м². Для каждого значения интенсивности солнечного света зафиксируйте максимальную нагрузку, которую может обеспечить автономный инвертор.

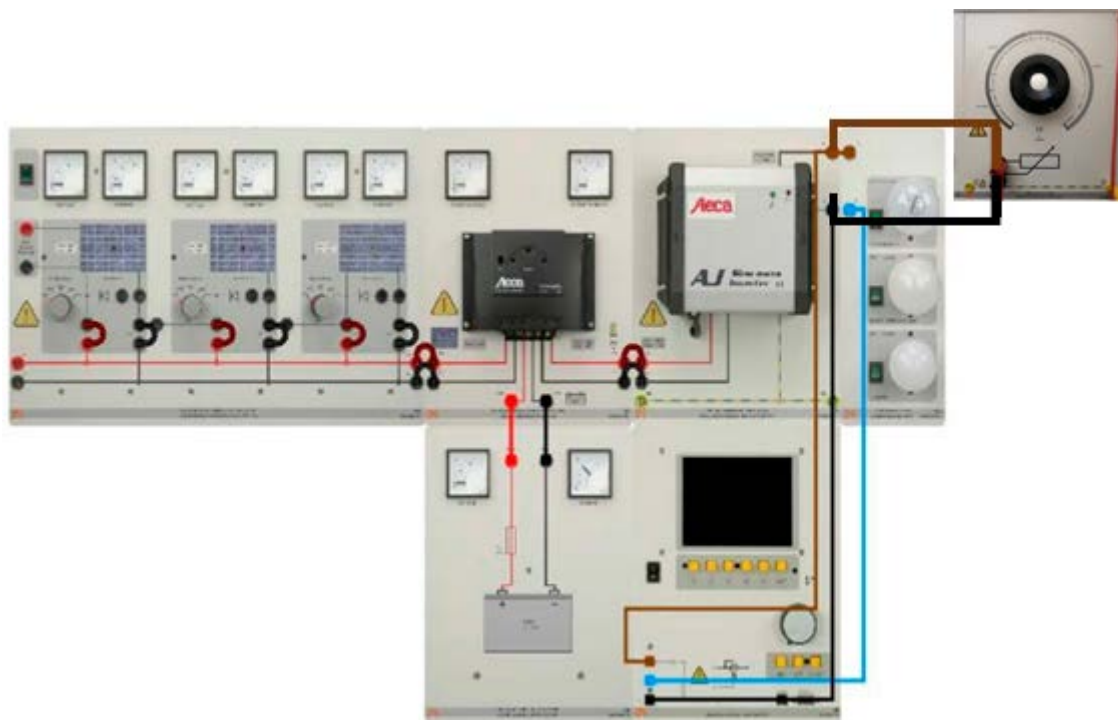


Рис. 4.2. Схема проведения эксперимента по снятию рабочей характеристики автономного солнечного инвертора. Снятие параметров работы инвертора со стороны переменного тока

7. Для каждой точки определите мощность со стороны постоянного и со стороны переменного тока инвертора. Рассчитайте КПД инвертора. Постройте его рабочую характеристику для разных значений интенсивности солнечного света.

8. Отключите внешнее питание стенда, переведя выключатели используемых учебных модулей в положение «Off».

4.3. Исследование сетевого солнечного инвертора

1. Используя набор проводников, соедините устройства и блоки в соответствии со схемой подключения, приведенной на рис. 4.3.

2. На каждом из имитаторов фотоэлектрического преобразователя установите регулятор освещенности в положение $E = 1000 \text{ Вт/м}^2$.

3. После проверки правильности сборки схемы включите стенд, переведя выключатели соответствующих учебных модулей в положение «On».

4. Измерьте значения тока и напряжения со стороны постоянного и переменного тока инвертора (используйте схемы соединения, аналогичные рис. 4.1 и 4.2). Определите КПД инвертора. Постройте его рабочую характеристику.

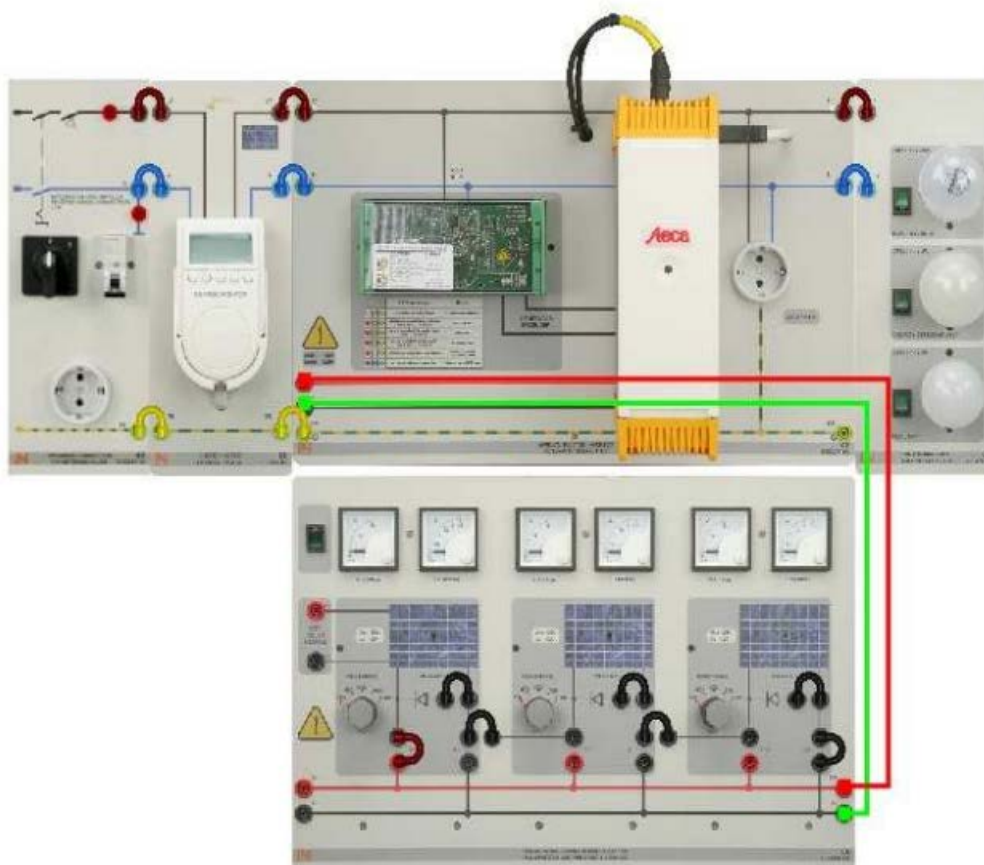


Рис. 4.3. Схема проведения эксперимента по снятию характеристик сетевого солнечного инвертора

5. Имитируйте выход из строя сети питания, переведя основной выключатель в положение «0». Зафиксируйте значения тока и напряжения со стороны постоянного и переменного тока инвертора.

6. Повторите опыты, устанавливая на каждом из имитаторов фотоэлектрического преобразователя регулятор освещенности в положения E от 200 до 1000 Вт/м².

7. Отключите внешнее питание стенда, переведя выключатели используемых учебных модулей в положение «Off».

4.4. Обработка результатов

Отчет: при выполнении отчета о лабораторном исследовании рекомендуется воспользоваться формой, приведенной в приложении Б. Используя полученные данные:

- постройте рабочую характеристику автономного инвертора. Сделайте выводы о влиянии загрузки инвертора на его эффективность; дополнительно проанализируйте влияние нагрузки на вид синусоиды переменного тока;

- постройте рабочую характеристику сетевого инвертора. Сделайте выводы о влиянии загрузки инвертора на его эффективность.

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое «точка максимальной мощности» (МРР)?
2. Как изменяются электрические показатели солнечного элемента при увеличении его площади?
3. Назовите характерные точки вольт-амперной характеристики фотоэлектрического элемента, называя физические величины и соответствующие единицы измерения.
4. Как изменится КПД ФЭМ при увеличении освещенности?
5. Каковы сравнительные характеристики типичного бестрансформаторного инвертора со встроенным повышающим/понижающим преобразователем по сравнению с инверторами других типов?
6. Какие соотношения мощности между батареей ФЭМ и инвертором являются разумными и рекомендованными?
7. Как называется полупроводниковое устройство, преобразующее постоянный ток батареи ФЭМ в постоянный ток подходящих для нагрузки параметров?
8. Для чего используются байпасные диоды?
9. Какое соединение ФЭМ друг с другом наиболее подвержено влиянию частичного затенения? Почему?
10. Как изменяется вольт-амперная характеристика ФЭМ при изменении интенсивности солнечного света?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения лабораторных работ, представленных в данном практикуме, студенты знакомятся с принципами функционирования основных элементов фотоэлектрических систем, осваивают методы экспериментального определения их энергетических характеристик и приобретают практические навыки работы с современным лабораторным оборудованием.

Выполнение экспериментальных исследований позволяет наглядно изучить влияние уровня освещённости и частичного затенения на параметры фотоэлектрических модулей, оценить влияние конфигурации массива и применения байпасных диодов на эффективность преобразования солнечной энергии, а также определить зависимости КПД автономных и сетевых инверторов от условий их работы и нагрузки.

Результаты лабораторных исследований служат основой для формирования у студентов компетенций, связанных с анализом, проектированием и эксплуатацией фотоэлектрических установок и гибридных энергетических систем. Освоение представленного материала способствует развитию инженерного мышления, пониманию физико-технических процессов, протекающих в солнечных энергетических установках, и формированию практико-ориентированных навыков для будущей профессиональной деятельности в области возобновляемой энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Список рекомендуемой литературы

Основной

1. Konrad Mertens. Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice, 2nd Edition // Wiley, 2019.

Дополнительный

2. Виссарионов, В.И. Солнечная энергетика: учеб. пособие / В.И. Виссарионов, Г.В. Дерюгина, В.А. Кузнецова, Н.К. Калинин; ред. В.И. Виссарионова. – 2-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011.

Краткая инструкция по настройке программы-самописца «X/Y-Плоттер» и работе с ней

Для того чтобы начать работу с программой-самописцем, выберете в опциях меню «Инструменты» строку «X/Y-Плоттер» – виртуальный инструмент аналогового-цифрового мультиметра. Стартовое окно представлено на рис. А.1.

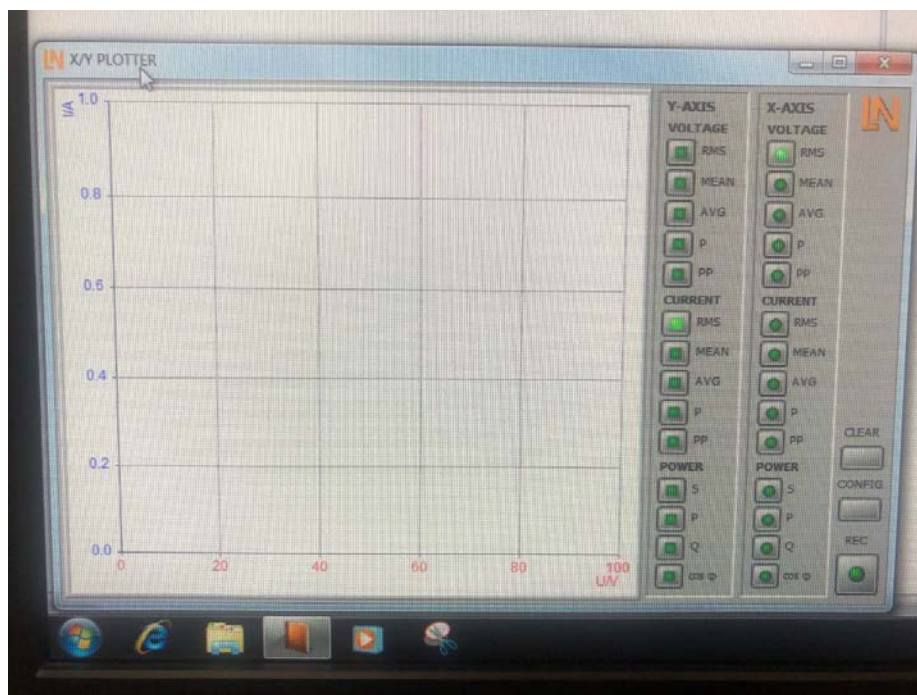


Рис. А.1. Интерфейс программы-самописца

В правой части диалогового окна программы пользователь может выбрать интересные для регистрации величины, а также настроить режим работы в меню «Config» (см. рис. А.2).

Для получения доступа к настройкам отображения необходимо по области координатной плоскости совершить двойной щелчок левой кнопки мыши или один правой и затем в появившемся контекстном меню перейти во вкладку «Свойства». Пользователь может настроить параметры интересующих градуированных шкал во вкладке «Градуировка» (см. рис. А.3), выбрав предельные значения и цену деления.

Данный виртуальный инструмент позволяет не только в реальном времени отслеживать интересные значения, но и сохранять результаты экспериментальных исследований для дальнейшего анализа и обработки. Для этого необходимо воспользоваться функцией «Экспорт», которая

доступна в контекстном меню при нажатии правой кнопкой мыши по области диаграммы. Далее пользователь должен выбрать в каком именно виде необходимо сохранить интересующие данные (см. рис. А.4).

Данная программа позволяет экспортировать изображения как в растровом, так и векторном виде, а также получить ряд экспериментальных данных в текстовом формате.

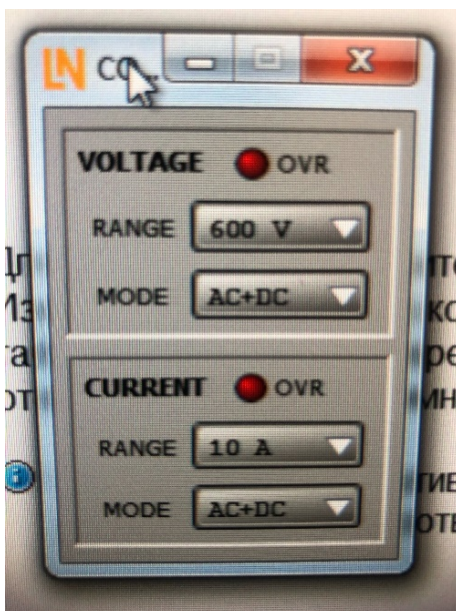


Рис. А.2. Меню «Config» настройки режима работы программы

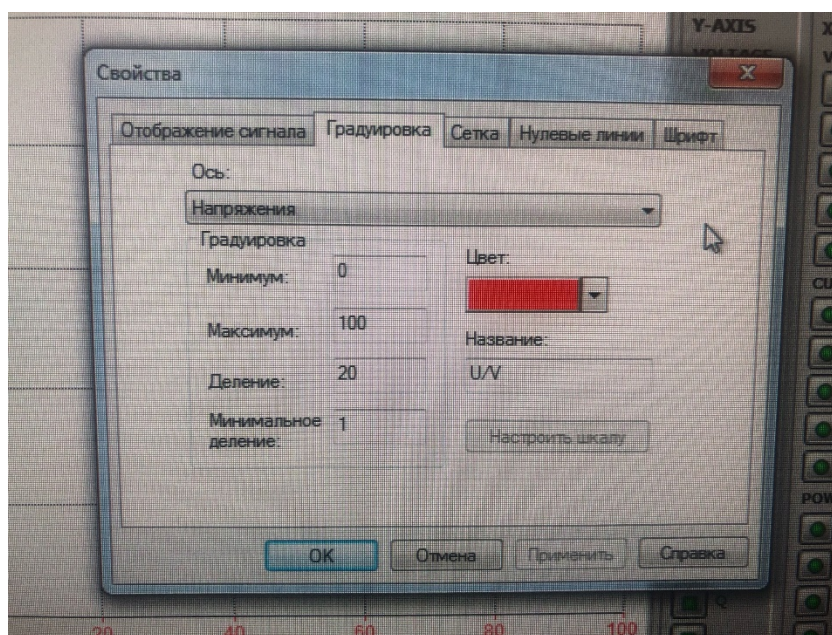


Рис. А.3. Меню настройки измерительных шкал самописца

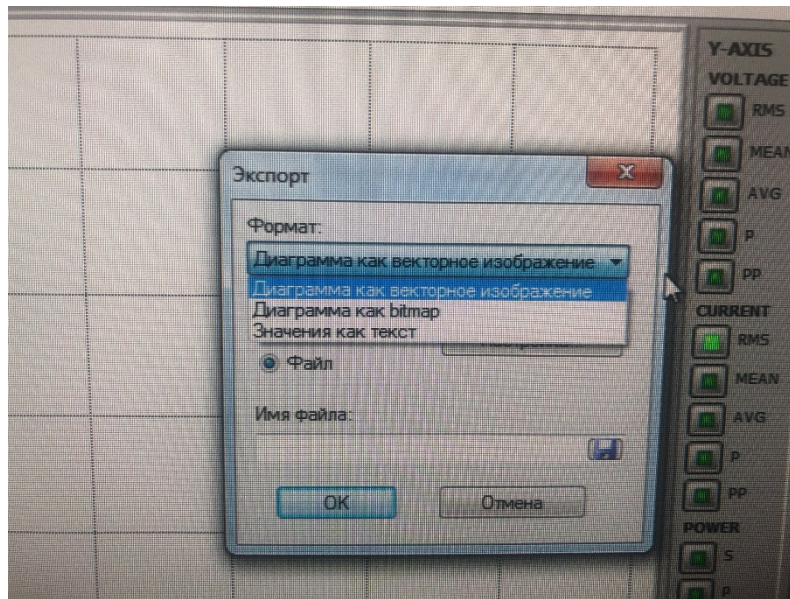


Рис. А.4. Контекстное меню экспорта данных из программы «X/Y-Плоттер»

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Рекомендуемые формы отчетов с результатами экспериментальных исследований

Таблица Б.1

Вольт-амперная $U = f(I)$ и мощностная $P = f(U)$ характеристики массива солнечных модулей при их равномерном освещении $E = \underline{\hspace{1cm}}$ Вт/м²

$E = \underline{\hspace{1cm}}$ Вт/м ²													
Один СМ	I, A	$I_{K3} =$											0
	U, B	0											$U_{xx} =$
	$P, Bт$	0											0
Три СМ послед.	I, A	$I_{K3} =$											0
	U, B	0											$U_{xx} =$
	$P, Bт$	0											0
Три СМ парал.	I, A	$I_{K3} =$											0
	U, B	0											$U_{xx} =$
	$P, Bт$	0											0

Таблица Б.2

**Вольт-амперная $U = f(I)$ и мощностная $P = f(U)$ характеристики массива солнечных модулей
при их частичном затемнении $E = \text{--- Вт/м}^2$**

$E = \text{--- Вт/м}^2$			СМ1		СМ2		СМ3	
			600		1000		1000	
Три СМ	$I, \text{А}$	$I_{\text{кз}}$						0
	$U, \text{В}$	0						U_{xx}
	$P, \text{Вт}$	0						0
Три СМ + байпас	$I, \text{А}$	$I_{\text{кз}}$						0
	$U, \text{В}$	0						U_{xx}
	$P, \text{Вт}$	0						0

Таблица Б.3

Рабочая характеристика массива солнечных модулей при их различной освещенности $E = \text{---}$ Вт/м²

Интенсивность СИ, Вт/м ²	АС			DC			Рабочая хар-ка	
	I , А	U , В	P , Вт	I , А	U , В	P , Вт	P/P_{AC}	КПД
1000								
800								
600								
400								
200								

Учебное электронное издание

**Васьков Алексей Геннадьевич
Харитонов Виктор Юрьевич
Шуркалов Петр Сергеевич**

Редактор Т.А. Феоктистова

Компьютерная верстка О.А. Копыловой

Для выполнения лабораторных работ используется специальное программное обеспечение лабораторного стенда «EPH 2 Advanced Photovoltaics» (SCADA for PowerLab).

Программное обеспечение не подлежит установке на персональных компьютерах обучающихся и используется только в лаборатории для проведения учебных занятий.

Дата подписания – 21.11.2025

Объем издания – 3,51 Мбайт

Тираж – 10 электронных оптических дисков DVD-R

Издательство МЭИ
111250, Москва, Красноказарменная, д. 14, стр.1
izdatmpei@gmail.com