

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВОЛЬТАИЧЕСКОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

**Ж.Д. Давидян, М.Г. Тамразян, С.О. Оганисян, Л.А. Арутюнян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Во многих странах, в том числе и в Армении, солнечные электростанции (СЭС) сооружаются по схеме вольтаических СЭС непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую. Схемы, методы исследования и расчёта таких СЭС недостаточно разработаны. Поэтому решение указанных вопросов является весьма актуальным. Эффективным аппаратом исследования и расчёта являются математические модели и программно-вычислительные комплексы. Приведены разработанная схема и математическая модель вольтаической СЭС на базе инвертора напряжения и резонансного параллельно-последовательного фильтра, работающего параллельно с сетью. Интенсивность солнечного излучения является аргументом происходящих процессов и при существующем подходе выражается величиной генерированного постоянного тока. Напряжение и мощность считаются производными величинами. В схеме и математической модели выполнено преобразование, при котором солнечные панели представлены в виде источника напряжения, где в качестве независимой переменной представлено напряжение, которое линейно зависит от солнечного излучения, а в качестве функции – генерированный ток и мощность нагрузки. Посредством математической модели исследовано обеспечение синусоидальной формы выходного напряжения, вычислены частотные спектры и коэффициенты искажения формы выходного напряжения, определены функции переходного процесса при подключении СЭС к сети, нагрузочные характеристики генерации и передачи в сеть активной и реактивной мощности. Разработанная математическая модель вольтаической СЭС представляет собой адекватный инструмент для исследования и расчёта параметров электростанции. Исследования, проведённые на модели, подтверждают возможность генерации и передачи в сеть активной и реактивной мощности, линейно связанной с интенсивностью солнечного излучения, при обеспечении синусоидальности формы выходного напряжения и удовлетворительного качества переходного процесса. Для повышения перегружаемости, устойчивости и регулируемости мощности (как активной, так и реактивной) вольтаических инверторных СЭС целесообразно использование буферных аккумуляторов на входе инвертора или (и) синхронных компенсаторов на выходе инвертора, а также параллельно работающих синхронных генераторов традиционных электростанций при малых сопротивлениях связи.

**Ключевые слова:** вольтаическая солнечная электростанция, математическая модель, форма выходного напряжения, нагрузочные характеристики генерации, регулирование реактивной мощности.

**Введение.** Количество солнечных электростанций в мире, их установленная мощность и выработка электроэнергии непрерывно растут. Солнечные электростанции в настоящее время находят широкое распространение во многих странах, в том числе и в Армении [1, 2]. Актуальность развития солнечной энергетики в Армении вызвана отсутствием неиспользованных гидроэнергоресурсов, запасов нефти и газа, а также экологическими проблемами. СЭС в большинстве случаев сооружаются по схеме вольтаических СЭС непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую [3]. Вольтаические СЭС по ряду характеристик (устойчивость параллельной работы с сетью, перегружаемость, синусоидальность формы выходного напряжения, регулирование реактивной мощности) уступают синхронным генераторам традиционных электростанций. Схемы, методы исследования и расчёта СЭС недостаточно разработаны. Учитывая изложенное, решение указанных вопросов весьма актуально. Эффективным аппаратом исследования и расчёта являются математические модели и программно-вычислительные комплексы.

**Методы исследования.** Электрическая принципиальная схема условной вольтаической СЭС приведена на рис. 1.

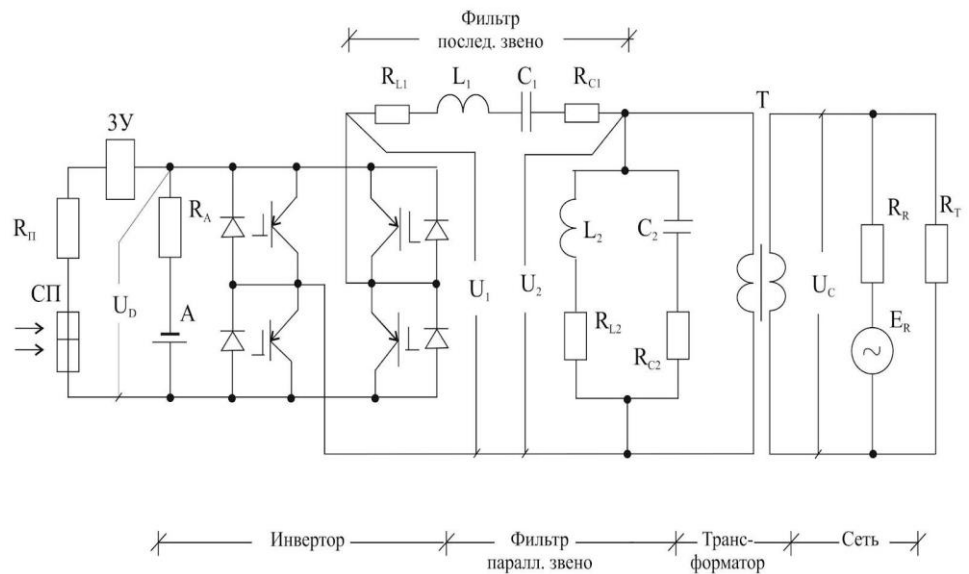


Рис. 1. Электрическая принципиальная схема вольтаической СЭС

Обозначения элементов на входе: СП – солнечные панели,  $R_n$  – сопротивление солнечных панелей, А – аккумулятор, ЗУ – зарядное устройство аккумулятора,  $R_a$  – сопротивление аккумулятора. Обозначения прочих элементов упоминаются в тексте.

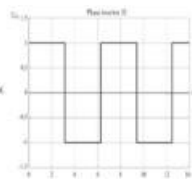
Мощность электростанции – 1000 кВт. Мощность энергосистемы, к которой подключена электростанция, условно принята 100 МВт.

Разработана математическая модель вольтаической СЭС (рис.1) на базе инвертора напряжения, работающего параллельно с сетью.

При разработке модели схема электростанции условно принята однофазной с целью схемного и расчётного упрощения, что позволяет наглядно представить полученные результаты. Соответственно, форма переменного напряжения на выходе инвертора прямоугольно ступенчатая с коэффициентом искажения (отклонения от синусоидальной) 46,3% [4] (табл.1).

Таблица 1

Форма переменного напряжения на выходе инвертора

Тип инвертора	Схема инвертора	Форма выходного напряжения	Коэф. искажения	Частотный спектр
Инвертор напряжения	Однофазная		46,3%	

Электростанция состоит из следующих основных блоков.

Солнечные панели предназначены для преобразования солнечного излучения в электрическое напряжение постоянного тока. Характеристика единичного элемента солнечных панелей, связывающих солнечное излучение с током, напряжением и мощностью, представлена на рис.2 [5].

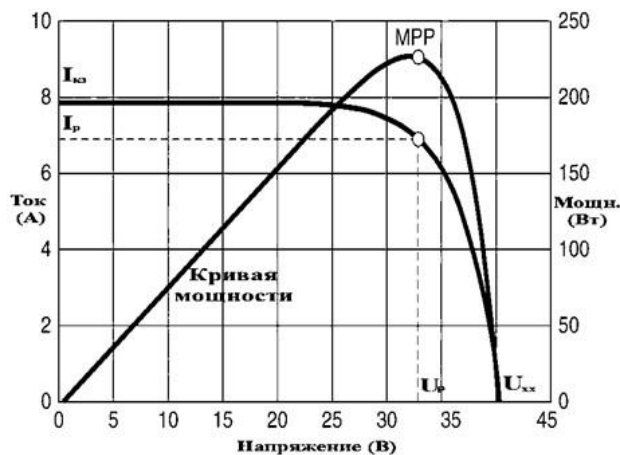


Рис.2. Характеристика единичного элемента солнечных панелей

Интенсивность солнечного излучения, являясь аргументом происходящих процессов, тем не менее откладывается разработчиками панелей на вертикальной оси (оси  $y$ ) и выражается величиной генерированного постоянного тока [5]. Напряжение и мощность считаются производными величинами. При таком подходе ток панели является независимой переменной, а напряжение и мощность – функцией, т.е. солнечные панели являются "источниками тока". Однако в энергетических объектах источник электроэнергии является "источником напряжения", где напряжение источника является независимой переменной, а ток и мощность нагрузки – функцией. Для исключения этого несоответствия, учитывая линейную связь между током и напряжением (см. характеристику на рис.2), в качестве аргумента – независимой переменной – может быть представлено напряжение, которое линейно зависит от солнечного излучения, а в качестве функции – генерированный ток и мощность. Панели представлены в виде источника напряжения постоянного тока, величина напряжения панелей линейно пропорциональна интенсивности солнечного излучения.

*Инвертор* предназначен для преобразования напряжения постоянного тока в переменное напряжение [6 - 8]. Инвертор выполнен по схеме инвертора напряжения и преобразует входное напряжение постоянного тока в однофазное переменное напряжение ступенчато-прямоугольной формы [4] в соответствии с вышеизложенным допущением. Величина переменного напряжения на выходе инвертора, учитывая малое падение напряжения на тиристорах, принимается равной напряжению постоянного тока солнечных панелей с учётом коэффициента преобразования схемы. Инвертор посредством широтно-импульсной или амплитудно-импульсной модуляции или их комбинации (будучи выполненным многоуровневым) может выполнять одновременно две функции [6]:

- приближение формы выходного напряжения инвертора к синусоидальной;
- регулирование величины (амплитуды) выходного напряжения.

*Фильтр*. В рассматриваемой схеме СЭС (рис.1) в качестве общего случая фильтрация выходного напряжения инвертора возложена на фильтр. Фильтр предназначен для фильтрации прямоугольно-ступенчатого по форме переменного напряжения с выхода инвертора и преобразования его в приближенное к синусоидальной по форме переменное напряжение. Фильтр выполнен по схеме резонансного последовательно-параллельного фильтра [9]. Последовательное звено настроено на резонанс напряжений, а параллельное звено – на резонанс токов на основной частоте 50 Гц.

Фильтрация выходного напряжения инвертора от высших гармоник искажения выполняется следующим образом:

1) синусоидальное напряжение *основной гармоники* и, соответственно, синусоидальная составляющая тока нагрузки практически без искажения по амплитуде, фазе и без потерь проходят через фильтр на выход;

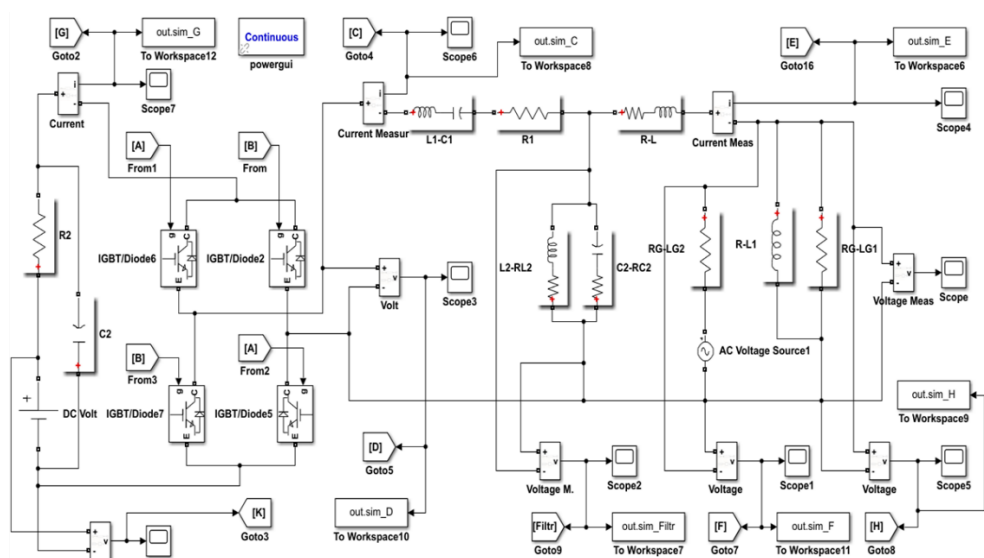
2) *высокочастотные составляющие напряжения*, которые являются фактором искажения формы выходного напряжения, задерживаются в фильтре: присутствуют на высокоомном (при высокой частоте) сопротивлении индуктивности последовательного звена и практически отсутствуют на низкоомном напряжении параллельного звена, т.е. на выходе фильтра.

*Трансформатор* предназначен для согласования напряжения на выходе электростанции (на выходе фильтра) с напряжением сети.

*Сеть* представлена в виде единичного генератора и параллельно включённой нагрузки.

Расчёт параметров схемы выполнен на основании [9].

Разработана математическая компьютерная модель солнечной электростанции на основании программно-вычислительного комплекса *Matlab-Simulink*, схема которой представлена на рис.3 с учётом рассчитанных параметров.



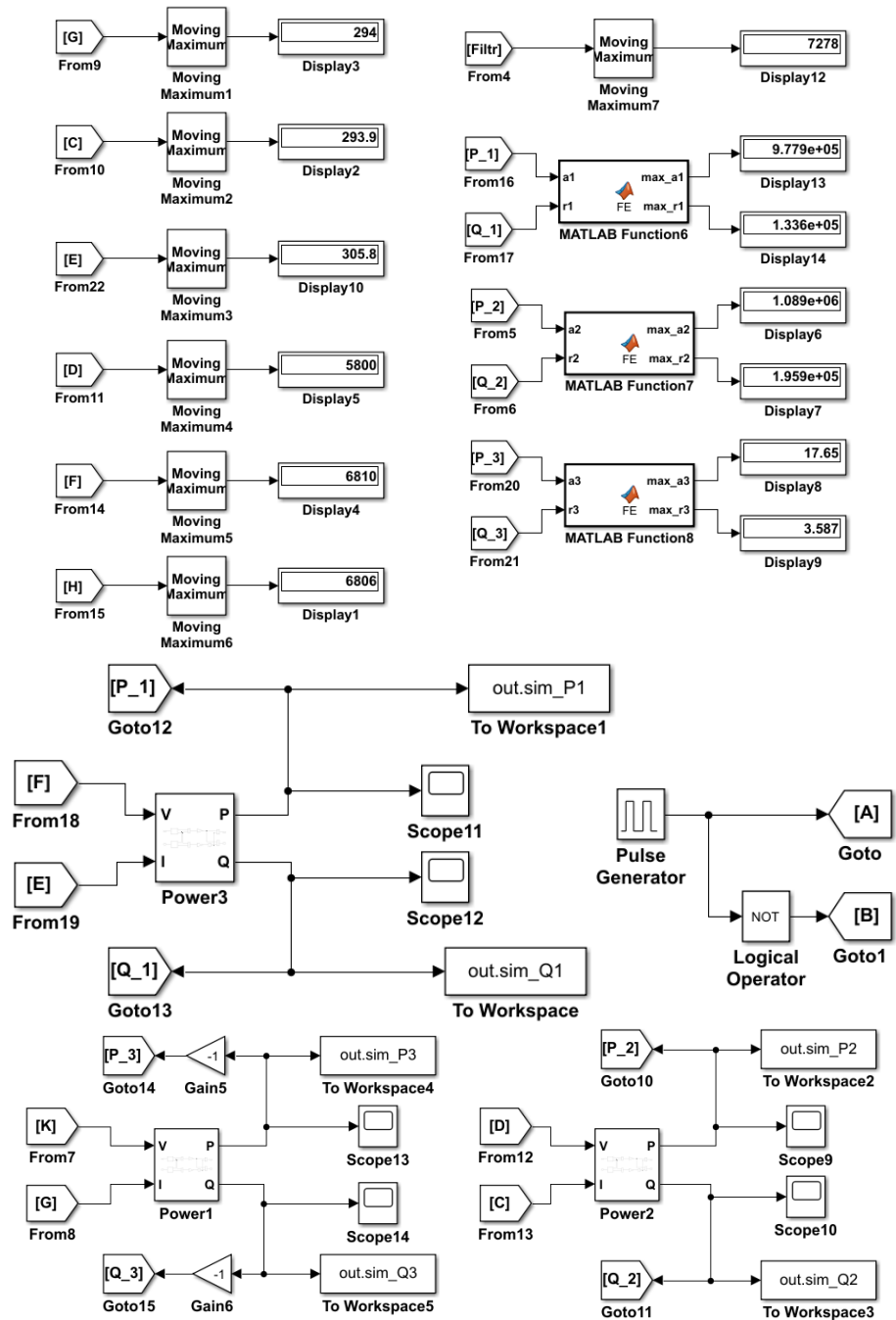


Рис.3. Математическая компьютерная модель солнечной электростанции

**Результаты исследования.** посредством математической модели проведены исследования, результаты которых приводятся ниже.

**Обеспечение синусоидальности выходного напряжения инвертора.**

Форма выходного напряжения электростанции в соответствии с требованиями Стандарта [10] должна быть синусоидальной с коэффициентом искажения (отклонения от синусоидальной) не более 8%. Напряжение на выходе фильтра ( $U_2$ ) (рис.1) представляет собой выходное напряжение электростанции. Это напряжение должно быть синусоидальным по форме и согласовано по величине и фазе с напряжением сети ( $U$ ). На рис.4а приведена осциллограмма напряжения на выходе инвертора, на рис.4б – осциллограмма тока на выходе электростанции. По форме выходного тока можно судить о форме выходного напряжения электростанции.

По оси  $x$  здесь и на последующих осциллограммах показано время в  $c$ ; по оси  $y$  – напряжение ( $B$ ) (рис.4а) и ток ( $A$ ) (рис.4б). Осциллограмма снята на модели, начиная с момента подключения станции к сети при нагрузке, близкой к номинальной.

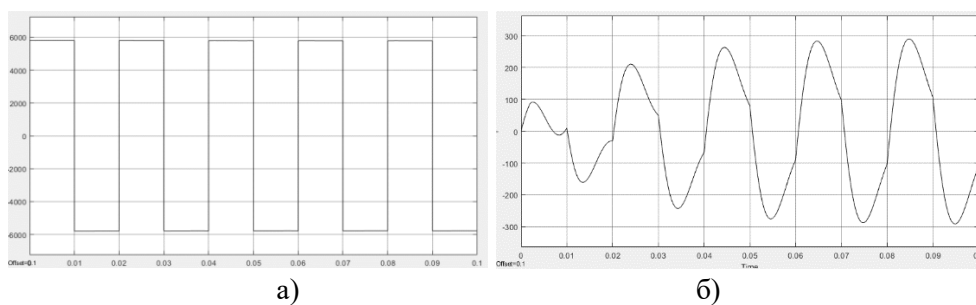


Рис.4. Осциллограммы фильтрации и обеспечения синусоидальности формы выходного напряжения инвертора: а - напряжение на выходе инвертора, б - напряжение на выходе электростанции

Как следует из приведённых осциллограмм:

- длительность переходного процесса вхождения в установившийся режим составляет три периода напряжения  $50 Гц$ , т.е. порядка  $0,06 c$ ;
- фильтр обеспечивает необходимую степень фильтрации напряжения прямоугольной формы с выхода инвертора; напряжение на выходе электростанции имеет практически синусоидальную форму и удовлетворяет требованиям Стандарта.

**Характеристика подключения солнечной электростанции к сети.**

При подключении СЭС к сети, солнечные панели которой облучаются Солнцем, на выходе станции имеется синусоидальное по форме напряжение, и станция готова к приёму нагрузки. При подключении возникает переходный процесс. Характеристика переходного процесса определяет состояние станции

и сети в момент подключения и сразу после подключения, определяет возможные перенапряжения и искажения. Исходя из изложенного, характеристика переходного процесса при подключении станции к сети представляет интерес для прогноза и исследования.

На рис.5 приведены осциллограммы тока, протекающего от станции в сеть при подключении станции к сети при точной синхронизации. По оси  $x$  показано время в  $c$ , по оси  $y$  – ток (А). Осциллограмма снята, начиная с момента подключения станции к сети при нагрузке, близкой к номинальной.

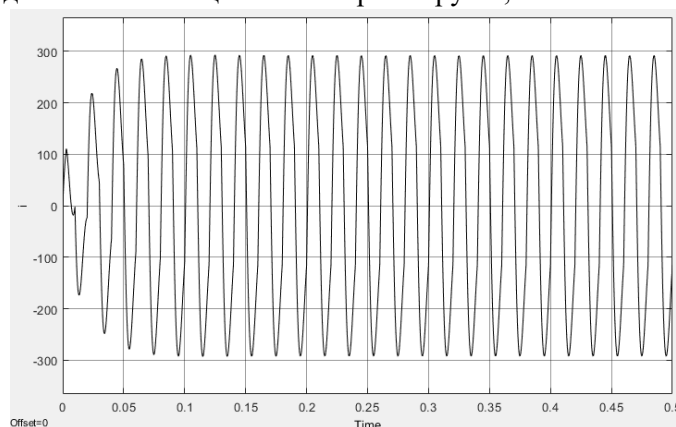


Рис.5. Осциллограмма тока при подключении станции к сети

Как следует из осциллограммы:

- переходный процесс подключения станции к сети носит аperiodический характер без колебаний, перенапряжений и провалов;
- длительность переходного процесса вхождения в установившийся режим составляет пять периодов напряжения  $50 Гц$ , т.е. порядка  $0,1 c$ ;
- форма тока спустя один период напряжения практически синусоидальна.

Такой переходный процесс удовлетворителен – он не создаёт колебаний, перенапряжений и экстратоков и не представляет опасности для станции и сети.

**Нагрузочная характеристика.** Нагрузочная характеристика представляет собой зависимость активной и реактивной мощности, генерированной электростанцией и переданной в сеть, от интенсивности солнечного облучения панелей:

$$P, Q = FI(E), \quad (1)$$

где  $P, Q$  - активная и реактивная мощность, генерированная солнечными панелями и переданная в сеть;  $E$  - напряжение на выходе солнечных панелей, соответствующее интенсивности солнечного облучения панелей.

Электрическая мощность на выходе солнечных панелей пропорциональна мощности солнечного излучения с учётом коэффициента полезного действия (КПД) солнечных панелей. КПД солнечных панелей представляет собой отношение электрической мощности на выходе солнечных панелей к мощности солнечного излучения. КПД промышленно выпускаемых солнечных панелей находится в пределах 0,17...0,2.

КПД солнечной электростанции определяется следующим образом:

$$\eta_{сэс} = \eta_{сп} \eta_{эн} K, \quad (2)$$

где  $\eta_{сп}$  - КПД солнечных панелей, принимается равным 0,2.  $\eta_{эн}$  - КПД электропреобразования, который представляет собой отношение электрической мощности, передаваемой в сеть, к электрической мощности на выходе солнечных панелей;  $K$  - коэффициент уменьшения КПД СЭС от внешних воздействий: отклонения от перпендикулярности направления солнечного излучения к поверхности панели, повышения температуры панелей, запылённости поверхности панелей, облачности, деградации панелей с течением времени.

Нагрузочная характеристика показывает эффективность преобразования мощности солнечного излучения в электрическую мощность.

В табл.2 и на рис.6 представлена нагрузочная характеристика, вычисленная на основе математической модели электростанции.

Таблица 2

Нагрузочная характеристика солнечной электростанции

Напряжение солнечных панелей, В	4200	4600	5000	5400	5800	5900
Мощность солнечно. панелей, кВт	120,4	314,8	540,6	797,5	1086	1163
Напряжение сети, В	6000	6000	6000	6000	6000	6000
Ток, передаваемый в сеть, А	58,9	118,1	179,2	230,3	302,6	318,2
Мощность активная, кВт	104,8	287,8	493,9	722,9	975,4	1042
Мощность реактивная, кВА	18,0	46,9	75,8	104,7	133,6	140,8
Мощность полная, кВт	106,4	291,6	499,7	730,5	1103,6	1051,5
Коэффициент мощности, $\cos \varphi$	0,985	0,987	0,998	0,99	0,984	0,991
КПД электропреобразования *, %	87,1	91,4	91,4	90,6	89,8	89,6

\* КПД электропреобразования представляет собой отношение активной мощности на выходе электростанции к активной мощности на входе инвертора и является величиной электрической части электростанции (без учёта КПД солнечных панелей и его изменения от внешних условий).

На рис.6 представлена нагрузочная характеристика генерации и передачи в сеть активной и реактивной мощности в пределах примерно от 10 до 100% от номинальной при независимом изменении напряжения на входе инвертора (напряжения солнечных панелей). Нагрузочная характеристика снята на модели и представлена на рис.6 в относительных единицах, где за единицу принята та величина напряжения солнечных панелей, при которой генерируется и передаётся в сеть номинальная мощность; номинальная мощность нагрузки также принята за единицу.

По этой характеристике можно заключить следующее.

1) величина генерированной и переданной в сеть активной и реактивной мощности находится в линейной зависимости от интенсивности солнечного излучения;

2) коэффициент мощности  $\cos \varphi$  генерированной и переданной в сеть активной и реактивной мощности достаточно высок (в пределах  $\cos \varphi = 0,98 \dots 0,99$ ) и неизменен – соотношение активной и реактивной мощности на всём интервале генерации практически неизменно, но нерегулируемо. Последнее практически исключает возможность регулирования реактивной мощности;

3) КПД электропреобразования (КПД электрической части электростанции) достаточно высок (в пределах 87,1...91,4%) и практически неизменен. Это свидетельствует о малости потерь в схеме электростанции;

4) если продолжить характеристику влево до нуля генерированной и переданной в сеть мощности, учитывая её линейность, то можно заметить, что при определённом начальном солнечном излучении передача в сеть электроэнергии ещё равна нулю. Разные авторы приводят различные величины этой задержки – т.н. “позднего просыпания” схемы электростанции: порядка 30% и даже 50% [11]. Наличие этого явления напрямую снижает выработку и КПД электростанции. Это явление имеет следующее объяснение.

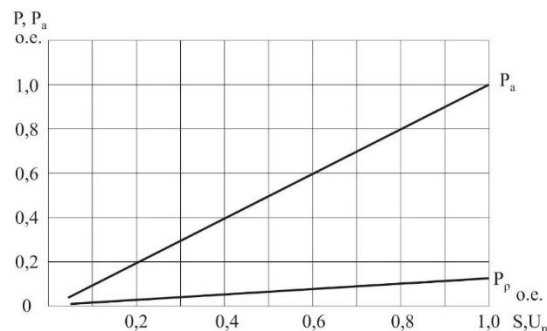


Рис.6. Нагрузочная характеристика генерации и передачи в сеть активной и реактивной мощности;  $S$  - солнечное излучение,  $U_n$  - напряжение солнечных панелей,  $P_a$  - активная мощность,  $P_r$  - реактивная мощность

Контур протекания тока от электростанции в сеть в данном случае следующий (см. рис.1): “солнечные панели со своим внутренним активным сопротивлением (либо буферный аккумулятор) – инвертор – последовательное  $L1-C1$  звено резонансного фильтра (в состоянии резонанса на частоте  $50 \text{ Гц}$  реактивности компенсированы, и звено имеет активный характер) – трансформатор (внутреннее сопротивление трансформатора имеет активно-индуктивный характер)”. Кроме того, в контуре протекает высокочастотный ток параллельного  $L2-C2$  звена резонансного фильтра. При параллельной работе электростанции с сетью напряжение на выходе станции равно напряжению сети. Однако напряжение солнечных панелей превосходит напряжение сети (с учётом преобразования в инверторе) на величину падения напряжения от протекающего тока на комплексном сопротивлении контура. Именно это напряжение при малых токах нагрузки и есть “напряжение просыпания” схемы. Величина этого напряжения зависит от величины сопротивления контура протекания тока – иногда оно может значительно отличаться от нуля (в режиме “просыпания” схемы);

5) для повышения перегружаемости, устойчивости и регулируемости мощности (как активной, так и реактивной) вольтаических инверторных СЭС необходимо создание внутреннего энергоресурса активной и реактивной мощности. Источником таких ресурсов могут быть буферные аккумуляторы на входе инвертора или синхронные компенсаторы на выходе инвертора, а также параллельно работающие синхронные генераторы традиционных электростанций при малых сопротивлениях связи.

На рис.7 приведены осциллограммы генерации и передачи в сеть электрической мощности, протекающей от станции в сеть, при подключении станции к сети. По оси  $x$  показано время в  $s$ , по оси  $y$  – активная мощность ( $\text{кВт}$ ) – рис.7а, реактивная мощность ( $\text{кВАр}$ ) – рис.7б. Осциллограммы сняты, начиная с момента подключения станции к сети при нагрузке, близкой к номинальной.

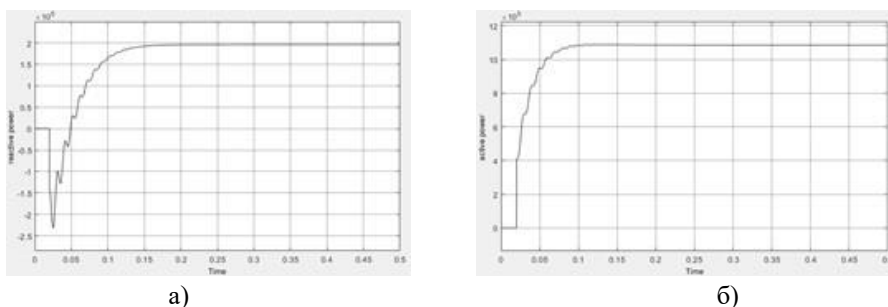


Рис.7. Осциллограмма генерации и передачи в сеть мощности от мощности солнечного излучения: а - активная мощность, б - реактивная мощность

Как следует из осциллограмм, приведённых на рис.7:

1) переходный процесс генерации и передачи в сеть активной мощности (рис.7а) носит аperiодический характер без перенапряжений и провалов, общая длительность переходного процесса  $0,15 \dots 0,2$  с;

2) в переходном процессе генерации и передачи в сеть реактивной мощности (рис.7б) в течение примерно  $0,03$  с реактивная мощность сначала протекает в обратном направлении “от сети в электростанцию”, после чего изменяет направление “от электростанции в сеть” и аperiодически достигает установившейся величины. Иначе – вектор тока сначала в течение примерно  $0,03$  с носит опережающий (ёмкостный) характер, после чего переходит в режим отстающего (индуктивного) тока и аperiодически достигает установившейся величины. Амплитуда броска тока в обратном направлении не превосходит номинального значения.

Такой характер переходного процесса удовлетворителен, т.к. не создаёт перенапряжений и экстратоков и не представляет опасности для станции и сети.

#### ***Заключение.***

1. Разработанная математическая модель вольтаической солнечной электростанции представляет собой адекватный инструмент для исследования и расчёта параметров электростанции.

2. Исследования, проведённые на модели, подтверждают возможность генерации и передачи в сеть активной и реактивной мощности, линейно связанной с интенсивностью солнечного излучения, при обеспечении синусоидальности формы выходного напряжения и удовлетворительного качества переходного процесса.

3. Для повышения перегружаемости, устойчивости и регулируемости мощности (как активной, так и реактивной) вольтаических инверторных СЭС целесообразно использование буферных аккумуляторов на входе инвертора или (и) синхронных компенсаторов на выходе инвертора, а также параллельно работающих синхронных генераторов традиционных электростанций при малых сопротивлениях связи.

#### **Литература**

1. <https://renew.ru/installed-capacity-of-global-solar-energy-reached-500gw/>  
Установленная мощность мировой солнечной энергетики
2. [http://advisory.am/news\\_ru.html](http://advisory.am/news_ru.html) Перспектива сооружения солнечных электростанций в Армении
3. Давидян Ж.Д. Целесообразно ли сооружение в Армении мощных солнечных электростанций?// Труды 7-й Международной конференции по возобновляемой энергетике.- Ереван, 2021.
4. Давидян Ж.Д., Тамразян М.Г., Арутюнян Л.А. Анализ и выбор типа инверторов солнечных электростанций по критерию формы кривой напряжения// Вестник НПУА: Электротехника, Энергетика.- 2022.- N 1. - С.48-65.
5. <http://elektrik.info/main/energy/1550-harakteristiki-solnechnyh-batarey.html>  
Характеристики солнечных батарей

6. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов.- 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Высшая школа, 1980.- 424 с.
7. <https://habr.com/ru/post/358172/> Инвертор: принцип работы, схемотехника.
8. Бернштейн А.Я., Гусяцкий Ю.М., Кудрявцев А.В., Сарбатов Р.С. Тиристорные преобразователи частоты в электроприводе.- М.: Энергия, 1980.- 328 с.
9. Давидян Ж.Д., Тамразян М.Г., Арутюнян Л.А. Резонансный фильтр выходного напряжения инверторов солнечных электростанций //Вестник НПУА: Электротехника. Энергетика.- 2022.- N 2.- С. 66-77.
10. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах
11. <https://www.solnechnye.ru/inventory-220v/ENE-N3KTL-3kW-220V.htm> Сетевой инвертор для солнечных батарей 3 кВт, 220 Вольт, производства СЕНЕ

*Поступила в редакцию 20.09.2023.  
Принята к опубликованию 03.01.2024.*

## **ԱՐԵՎԱՅԻՆ ՎՈՒՏԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՅԱՆԻ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՄՈՂԵԼ**

**Ժ.Դ. Դավիդյան, Մ.Գ. Թամրազյան, Ս.Հ. Հովհաննիսյան,  
Լ.Ա. Հարությունյան**

Արևային էլեկտրակայանները շատ դեպքերում, այդ թվում՝ նաև Հայաստանում, կառուցվում են վոլտային արևային էլեկտրակայանների սխեմայով, որոնք արևային էներգիան ուղղակիորեն վերածում են էլեկտրական էներգիայի: Նման արևային էլեկտրակայանների սխեմաները, հետազոտության և հաշվարկի մեթոդները բավականաչափ մշակված չեն: Այս հարցերի լուծումը արդիական է արևային էլեկտրակայանների դեպքում: Մաթեմատիկական մոդելները և ծրագրային ու հաշվողական համալիրները հետազոտության և հաշվարկի արդյունավետ գործիքներ են: Ներկայացված են արևային վոլտային էլեկտրակայանի մշակված սխեման և մաթեմատիկական մոդելը, որոնք հիմնված են ցանցին զուգահեռ գործող լարման ինվերտորի և ռեզոնանսային զուգահեռ ֆիլտրի վրա: Արեգակնային ճառագայթման ինտենսիվությունը կարևոր գործոն է տեղի ունեցող գործընթացների համար և ներկա մոտեցմամբ արտահայտվում է առաջացած հաստատուն հոսանքի մեծությամբ: Լարումը և հզորությունը համարվում են ստացված ֆունկցիոնալ մեծություններ: Մոդելի միջոցով ուսումնասիրվել են ելքային լարման սինուսոիդալ ձևի ապահովումը, ելքային լարման ձևի հաճախականային սպեկտրների և աղավաղման գործակիցների հաշվարկը, արևային էլեկտրակայանը ցանցին միացնելիս անցողիկ գործընթացի գործառույթները: Որոշվել են ակտիվ և ռեակտիվ էներգիայի արտադրության և ցանցին փոխանցման բնութագրերը: Վոլտային արևային էլեկտրակայանի մշակված մաթեմատիկական մոդելը համարժեք գործիք է էլեկտրակայանի պարամետրերի հետազոտման և հաշվարկման համար: Մոդելի վրա կատարված ուսումնասիրությունները հաստատում են ցանցին ակտիվ և ռեակտիվ էներգիայի զենեքացման և փոխանցման հնարավորությունը՝ զծայնորեն կապված արեգակնային ճառագայթման ինտենսիվության հետ՝ միաժամանակ ապահովելով ելքային լարման սինուսոիդալ ձևը և անցողիկ գործընթացի բավարար որակը: Վոլտային արևային ինվերտորային էլեկտրակայանների գերբեռնվածությունը, կայունությունը և

կառավարելիությունը մեծացնելու համար նպատակահարմար է օգտագործել բուֆերային մարտկոցներ ինվերտորի մուտքին և /կամ/ սինքրոն կոմպենսատորներ՝ ինվերտորի ելքում, ինչպես նաև զուգահեռ գործող ավանդական էլեկտրակայանների սինքրոն գեներատորներ՝ հաղորդակցության ցածր դիմադրության պայմաններում:

**Առանցքային բաներ.** արևային վոլտային էլեկտրակայան, արևային վոլտային էլեկտրակայանի մաթեմատիկական մոդել, ելքային լարման ձև, բեռնվաճառային գեներացիայի բնութագրեր, ռեակտիվ հզորության կարգավորում:

## **MATHEMATICAL MODEL OF A VOLTAIC SOLAR POWER PLANT**

**J.D. Davidyan, M.G. Tamrazyan, S.H. Hovhannisyan, L.A. Harutyunyan**

In many countries, including Armenia. Solar power plants, are constructed according to the scheme of voltaic solar power plants that directly convert solar energy into electrical energy. The schemes and methods of research and calculation of such solar power plants are not sufficiently developed. That is solution to these issues is relevant. Mathematical models and software and computing complexes are effective tools for research and calculation. The developed schemes and mathematical model of a voltaic power plant based on a voltage inverter and a resonant parallel-series filter operating in parallel with the network are presented. The intensity of solar radiation is an argument for the processes taking place and, with the existing approach, is expressed by the magnitude of the generated direct current. Voltage and power are considered derived quantities. In the schemes and mathematical model, a transformation is performed in which solar panels are presented as a voltage source, where the independent variable is voltage, which linearly depends on solar radiation, and the function is the generated current and load power. Using the model, the following was studied: ensuring a sinusoidal shape of the output voltage, the frequency spectra and distortion coefficients of the output voltage shape were calculated, the functions of the transient process when connecting a solar power plant to the network, the load characteristics of the generation and transmission of active and reactive power to the network were determined. The developed mathematical model of a voltaic solar power plant is an adequate tool for research and calculation of power plant parameters. Studies conducted on the model confirm the possibility of generating and transmitting active and reactive power to the network, linearly related to the intensity of solar radiation, while ensuring the sinusoidal shape of the output voltage and satisfactory quality of the transient process. To increase the overloadability, stability and controllability of power (both active and reactive) of voltaic solar inverter power plants, it is advisable to use buffer batteries at the inverter input and/or synchronous compensators at the inverter output, as well as parallel operating synchronous generators of traditional power plants with low communication resistances.

**Keywords:** solar voltaic power plant, mathematical model of a solar voltaic power plant, output voltage form, load characteristics of generation, regulation of reactive power of a solar voltaic power plant.