

УДК 621.38

**ЭЛЕКТРОНИКА. ФОТОЭЛЕКТРОНИКА.  
ELECTRONICS.PHOTOELECTRONICS.**

А.А. Заяц

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

jte@tut.by

A. Zayats

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

Supervisor – Zhukovskaya T., Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

*Аннотация:* что представляет собой инвертор, для чего используется, технические характеристики, классификация и области применения инверторов.

*Abstract:* what is an inverter, what is it used for, technical characteristics, classification and applications of inverters.

*Ключевые слова:* инвертор, фотоэлектрический инвертор, однофазный инвертор, трёхфазный инвертор, автономный инвертор, сетевой инвертор.

*Keywords:* inverter, photovoltaic inverter, single-phase inverter, three-phase inverter, autonomous inverter, network inverter.

**Введение**

В настоящее время широкое распространение получили электрические схемы, где в качестве источника тока используются аккумуляторы и солнечные модули. Для преобразования постоянного тока от аккумуляторов или солнечных модулей в переменный ток применяют инверторы.

**Понятие об инверторе. Общие сведения**

Инвертор представляет собой электротехническое устройство для преобразования постоянного тока в переменный с изменением величины напряжения. Обычно представляет собой генератор периодического напряжения, по форме приближённого к синусоиде, или дискретного сигнала.

Инверторы напряжения могут применяться в виде отдельного устройства или входить в состав источников и систем бесперебойного питания аппаратуры электрической энергией переменного тока.

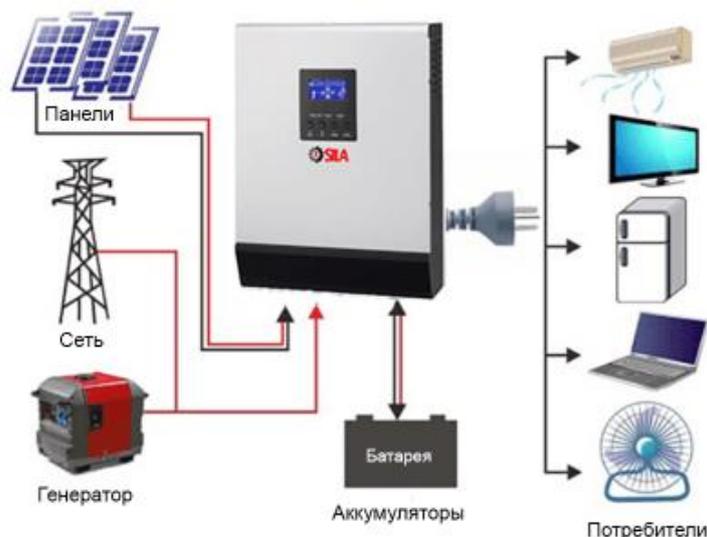


Рисунок 1 – Гибридный солнечный инвертор SILA V 5000P

Инвертор, как и любое сложное электротехническое устройство обладает следующими свойствами:

1. Инверторы напряжения позволяют устранить или по крайней мере ослабить зависимость работы информационных систем от качества сетей переменного тока. Например, в персональных компьютерах при внезапном отказе сети с помощью резервной аккумуляторной батареи и инвертора, образующих источник бесперебойного питания (ИБП), можно обеспечить работу компьютеров для корректного завершения решаемых задач. В более сложных ответственных системах инверторные устройства могут работать в длительном контролируемом режиме параллельно с сетью или независимо от неё.

2. Кроме «самостоятельных» приложений, где инвертор выступает в качестве источника питания потребителей переменного тока, широкое развитие получили технологии преобразования энергии, где инвертор является промежуточным звеном в цепочке преобразователей. Принципиальной особенностью инверторов напряжения для таких приложений является высокая частота преобразования (десятки-сотни килогерц). Для эффективного преобразования энергии на высокой частоте требуется более совершенная элементная база (полупроводниковые ключи, магнитные материалы, специализированные контроллеры).

3. Как и любое другое силовое устройство, инвертор должен иметь высокий КПД, обладать высокой надежностью и иметь приемлемые массогабаритные характеристики. Кроме того, он должен иметь допустимый уровень высших гармонических составляющих в кривой выходного напряжения (допустимое значение коэффициентов гармоник) и не создавать при работе недопустимый для других потребителей уровень пульсации на клеммах источника энергии.

4. В системах чистого измерения Grid-tie инвертор используется для подачи энергии от солнечных батарей, ветрогенераторов, гидроэлектростанций и других источников зелёной энергии в общую электрическую сеть.

Работа инвертора напряжения основана на переключении источника постоянного напряжения с целью периодического изменения полярности напряжения на зажимах нагрузки. Частота переключения задается сигналами управления, формируемыми управляющей схемой (контроллером). Контроллер также может решать дополнительные задачи:

- регулирование напряжения;
- синхронизация частоты переключения ключей;
- защитой их от перегрузок и др.

По принципу действия инверторы делятся на:

1. автономные;
2. инверторы напряжения (инверторы большинства ИБП);
3. инверторы тока (советский аэродромный преобразователь АПЧС-63У1);
4. резонансные инверторы (АИР);
5. зависимые инверторы, ведомые сетью, (силовой преобразователь электропоездов ВЛ85, ЭП1 и другие).

По своему исполнению солнечные инверторы подразделяются на:

- однофазные;
- трёхфазные.

### **Однофазные инверторы**

Существуют несколько групп инверторов. Первая группа более дорогих инверторов обеспечивает синусоидальное выходное напряжение. Вторая группа обеспечивает выходное напряжение упрощённой формы, заменяющей синусоиду. Чаще всего используется сигнал в виде трапецеидального синуса.

Для подавляющего большинства бытовых приборов не допустимо использовать переменное напряжение с упрощённой формой сигнала. Синусоида важна для приборов, содержащих электродвигатели/трансформаторы и некоторых телекоммуникационных, измерительных, лабораторных приборов, медицинской аппаратуры, а также профессиональной аудио аппаратуры. Выбор инвертора производится исходя из пиковой мощности энергопотребления стандартного напряжения 220В/50Гц.

Существуют три режима работы инвертора:

1. Режим длительной работы. Данный режим соответствует номинальной мощности инвертора.
2. Режим перегрузки. В данном режиме большинство моделей инверторов в течение нескольких десятков минут (до 30) могут отдавать мощность в 1,2-1,5 раза больше номинальной.
3. Режим пусковой. В данном режиме инвертор способен отдавать повышенную моментальную мощность в течение нескольких миллисекунд для обеспечения запуска электродвигателей и емкостных нагрузок.

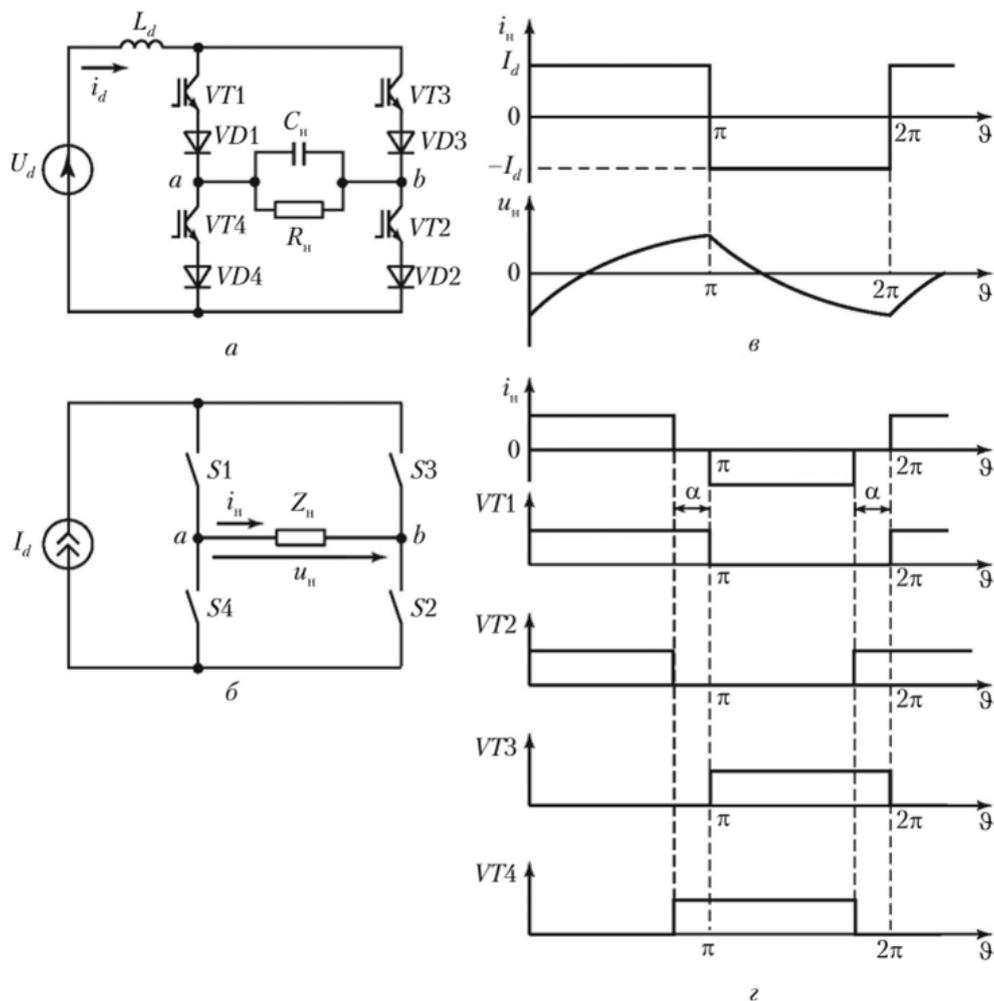


Рисунок 2 – Однофазный инвертор тока: а – мостовая схема; б – схема замещения; в – диаграммы токов и напряжения; г – диаграммы импульсов управления и тока нагрузки при широтно-импульсном регулировании

На рисунке 2 приведена схема однофазного инвертора тока, работающего на активно-ёмкостную нагрузку. Внешними отличительными признаками схем инвертора тока и инвертора напряжения являются:

- наличие дросселя  $L_{дл}$  в цепи постоянного тока инвертора тока;
- последовательное соединение транзисторов и диодов в инверторе тока;
- встречно-параллельное соединение диодов с транзисторами в инверторе напряжения.

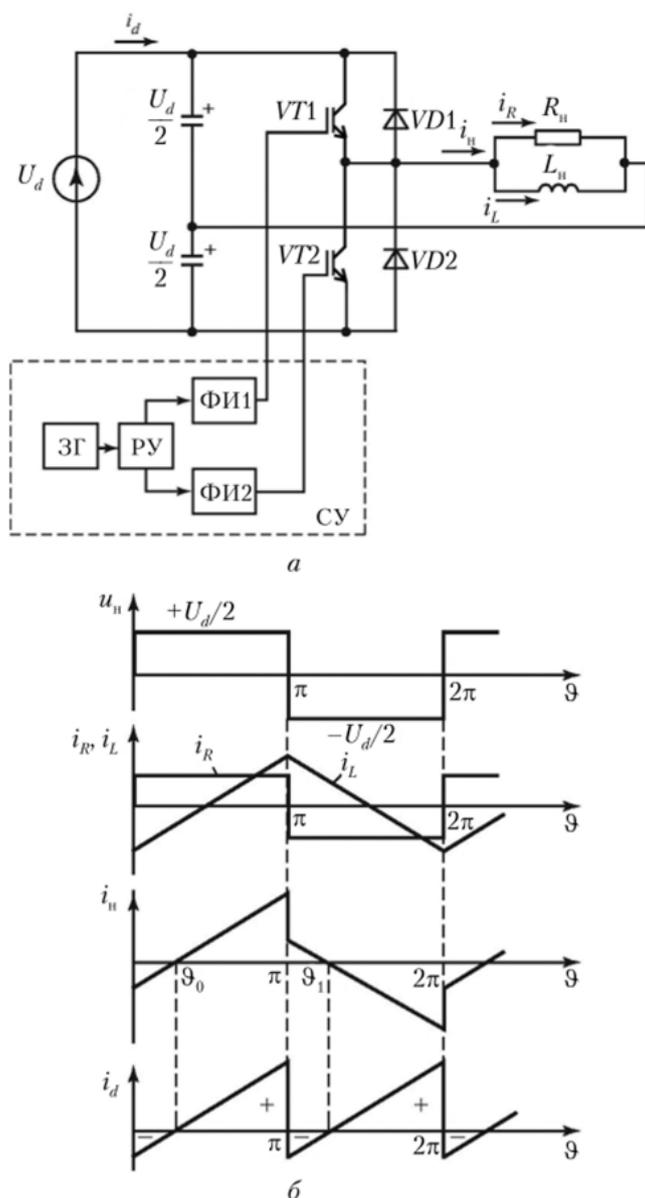


Рисунок 3 – Однофазный полумостовой инвертор напряжения а – схема; б – диаграмма работы

Простейшая однофазная полумостовая схема инвертора напряжения с активно-индуктивной нагрузкой представлена совместно с диаграммами токов и напряжений представлена на рисунке 3.

В течение нескольких секунд большинство моделей инверторов могут отдавать мощность в 1,5-2 раза превышающую номинальную. Сильная кратковременная перегрузка возникает, например, при включении холодильника.

Инвертора мощностью 150 Вт достаточно, чтобы запитать от бортовой электросети автомобиля практически любой ноутбук. Для питания и зарядки мобильных телефонов, аудио и фотоаппаратуры хватит 7,5 Вт.

### Трёхфазные инверторы

Трёхфазные инверторы обычно используются для создания трёхфазного тока для электродвигателей, например, для питания трёхфазного асинхронного

двигателя. При этом обмотки двигателя непосредственно подключаются к выходу инвертора.

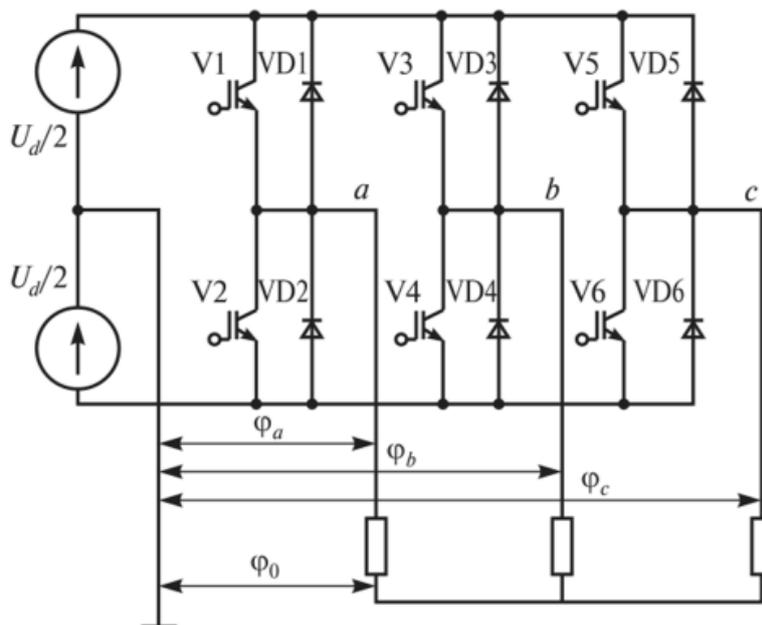


Рисунок 4 – Трёхфазная мостовая схема АИН

Рассмотрим процесс преобразования постоянного напряжения в трёхфазное периодическое напряжение с помощью АИН. Инвертор состоит из транзисторных ключей  $V_1$ - $V_6$  и диодов обратного тока  $VD_1$ - $VD_6$ , которые включены параллельно транзисторам (рисунок 3). При таком соединении транзистор и диод представляют собой ключ с двусторонней проводимостью. При подключении фазы "а" к «плюсу» источника постоянного напряжения  $U_d$  через транзистор  $V_1$  может протекать ток нагрузки прямого направления, а через диод  $VD_1$  может протекать ток нагрузки обратного направления.

Пренебрегая незначительным падением напряжения на транзисторе и диоде можно считать, что потенциал точек  $a$ ,  $b$ ,  $c$  равен или потенциалу положительного полюса источника (при проводящем состоянии транзисторов  $V_1$ ,  $V_3$ ,  $V_5$ ), или потенциалу отрицательного полюса источника (при проводящем состоянии транзисторов  $V_2$ ,  $V_4$ ,  $V_6$ ).

Высокомощные трёхфазные инверторы применяются в тяговых преобразователях в электроприводе локомотивов, тепловозов, троллейбусов, трамваев, прокатных станов, буровых вышек, в индукторах (установки индукционного нагрева).

### Инверторы для солнечных панелей

Инвертор для солнечных панелей – это тип электрического преобразователя, который преобразует исходный постоянный ток фотоэлектрической солнечной панели в переменный ток определённой частоты и напряжения, который может подаваться в общую электрическую сеть или использоваться домашней электросетью. Это критически важный элемент в солнечной электростанции, который позволяет обычному оборудованию, потребляющему переменный ток, работать в сочетании с солнечными панелями и/или аккумуляторами на посто-

янном токе. Инверторы солнечной электростанции имеют специальные функции, необходимые для использования с солнечными панелями, включая отслеживание точки максимальной мощности и автоматическое выключение при исчезновении сети.

### **Классификация**

Солнечные инверторы можно классифицировать на три основных типа:

1. Автономные инверторы, используются в местах, которые не подключены к общественной сети. Инвертор использует энергию постоянного тока от аккумуляторов, заряженных солнечными панелями. Многие автономные инверторы также имеют встроенные зарядные устройства для дополнительной зарядки батареи от источника переменного тока, если таковые имеются. Обычно они никоим образом не взаимодействуют с общественными электросетями, и как таковые они не должны иметь защиту от пропадания сети.

2. Сетевые инверторы, которые синхронизируются с внешней сетью по фазе и синусоиде тока, который поставляется в сеть. По соображениям безопасности сетевые инверторы обязаны выключаться при потере электроснабжения. Они не обеспечивают резервное питание при отключении внешней сети.

3. Гибридные инверторы управляют фотоэлектрической системой, аккумуляторной батареей и внешней сетью, объединяя все эти элементы через себя. Это современные универсальные системы, которые, как правило, могут использоваться для сетевых, автономных или резервных программ, но их основной функцией является использование энергии для собственного потребления с возможным использованием резервных аккумуляторов.

### **Отслеживание точки максимальной мощности (MPPT)**

Солнечные инверторы используют отслеживание точки максимальной мощности (MPPT) для получения максимально возможной мощности от солнечного массива. Солнечные фотоэлементы имеют сложную взаимосвязь между солнечным облучением, температурой и общим сопротивлением, что создаёт нелинейную эффективность генерации, известную как вольтамперная характеристика (ВАХ). Целью системы MPPT является подбор параметров тока и напряжения солнечных фотоэлементов, определения сопротивления (нагрузки) для получения максимальной мощности при любых заданных условиях окружающей среды.

Коэффициент заполнения, более известный под аббревиатурой FF, является параметром, который вместе с напряжением разомкнутого контура ( $V_{oc}$ ) и током короткого замыкания ( $I_{sc}$ ) панели определяет максимальную мощность солнечной батареи. Коэффициент заполнения определяется как отношение максимальной мощности солнечной батареи к произведению  $V_{oc}$  и  $I_{sc}$ .

### **Солнечные микроинверторы**

Солнечный микроинвертор – это инвертор, предназначенный для работы с одной или двумя солнечными панелями. Микроинвертор преобразует исходный постоянный ток с каждой панели в переменный. Конструкция микроинвертора

позволяет параллельно подключать несколько независимых блоков модульным способом.

К преимуществам микроинвертора можно отнести оптимизацию мощности одной панели, независимую работу каждой панели, возможность постепенного масштабирования СЭС.

К недостаткам, в первую очередь, следует отнести гораздо более высокую стоимость системы, увеличенную пожарную опасность и меньшую надёжность. Обычно микроинверторы используют на кровельных СЭС, где много разных углов и затенений.

### Сетевые инверторы для солнечных панелей

Главная роль сетевых или синхронных инверторов, или просто сетевого инвертора заключается в синхронизации генерации по фазе, напряжению и частоте с внешней электросетью. Сетевые инверторы для солнечных панелей имеют защиту для быстрого отключения от сети, если внешняя сеть не работает или зафиксированы другие, критически важные ошибки. Это требование ПУЭ, которое гарантирует, что в случае отключения электроэнергии инвертор автоматически и мгновенно выключится, что предотвратит генерацию энергии и не причинит вреда любым рабочим, которых направляют на исправление электросети.

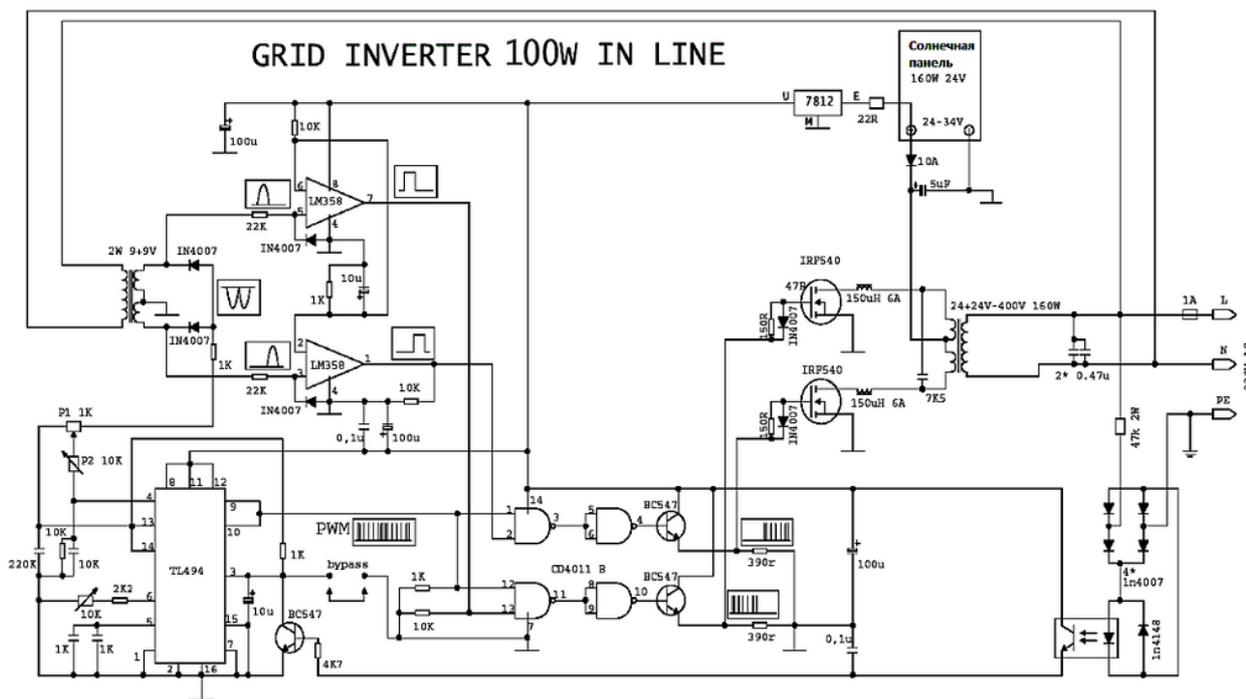


Рисунок 5 – Схема маломощного сетевого инвертора

На рисунке 5 представлен простой сетевой инвертор напряжения, который позволяет преобразовывать электроэнергию из солнечных панелей в сетевое напряжение 220В и 50Гц, которое затем отдается в сеть.

Инверторы, которые сегодня доступны на рынке, используют различные технологии. Инверторы могут использовать новые высокочастотные трансформаторы, обычные низкочастотные трансформаторы или быть бестрансформаторными. Вместо преобразования постоянного тока непосредственно в 230В

переменного тока, высокочастотные трансформаторы используют компьютеризированный многоступенчатый процесс, который предполагает преобразование мощности в высокочастотный переменный ток, а затем обратно в постоянный, который в конечном итоге снова превращается в переменный ток.

Исторически сложилась обеспокоенность подключением бестрансформаторных инверторов к коммунальной сети. Опасения связаны с тем, что между цепями постоянного и переменного тока отсутствует гальваническая развязка, что может способствовать, при неисправностях, попаданию постоянного тока на сторону переменного тока. Начиная с 2005 года, разрешается использовать бестрансформаторные (или не гальванически развязанные) инверторы. В современных инверторах есть целый ряд защит, которые позволяют защитить как саму солнечную станцию, так и внешнюю сеть.

Все сетевые инверторы для солнечных панелей предназначены для подключения к внешней электросети, и они не будут работать, если останутся без подключения к внешней сети.

### **Заключение**

Солнечное излучение является практически неисчерпаемым источником энергии.

Применение фотоэлектрических инверторов позволяет практически решать вопросы использования солнечной энергии. Актуально применение схем с солнечными батареями не только для коммунального хозяйства, но особенно для космической отрасли. В схемах электроснабжения различного оборудования космических летательных аппаратов (искусственные спутники Земли, орбитальные космические станции, межпланетные зонды и другие) используют солнечные батареи и фотоэлектрические инверторы. Поэтому трудно переоценить значение фотоэлектрических инверторов для решения сложных научно-технических задач.

### **Литература**

1. Силовая электроника [Электронный ресурс]/силовая электроника. -Режим доступа: [https://studme.org/236023/tehnika/odnofaznye\\_invertory\\_toka](https://studme.org/236023/tehnika/odnofaznye_invertory_toka) – Дата доступа: 17.04.2023
2. Инвертор [Электронный ресурс]/Википедия. Свободная энциклопедия. -Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Инвертор\\_\(электротехника\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Инвертор_(электротехника)) – Дата доступа: 17.04.2023