

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ *PWM* И *MPPT* В КОНТРОЛЛЕРАХ ЗАРЯДА СОЛНЕЧНОЙ БАТАРЕИ

Куделич К.С.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ларькин А. Д. – магистр, ассистент кафедры ПИКС

Аннотация. Рассмотрены две основные технологии контроллеров заряда для солнечных батарей – *PWM* (широтно-импульсная модуляция) и *MPPT* (отслеживание точки максимальной мощности). Проанализированы принципы их работы, преимущества, недостатки и ключевые отличия. Проведено сравнение эффективности в различных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: широтно-импульсная модуляция, *PWM*, отслеживание точки максимальной мощности, *MPPT*, контроллер заряда солнечной батареи.

Введение. Эффективность автономных солнечных систем во многом определяется правильным выбором контроллера заряда – устройства, которое управляет процессом зарядки аккумулятора и обеспечивает максимальное использование энергии, вырабатываемой фотоэлектрическими панелями. На сегодняшний день наиболее распространены два типа контроллеров: на основе широтно-импульсной модуляции (*PWM*) и с функцией отслеживания точки максимальной мощности (*MPPT*).

Основная часть. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ/*PWM*) – это метод управления мощностью, подаваемой на нагрузку, путем изменения длительности (ширины) импульсов при постоянной частоте и амплитуде сигнала. Он основан на переключении источника питания между состояниями «включено» и «выключено», что обеспечивает высокий КПД и минимальный нагрев управляющих элементов

Нагрузка получает питание не постоянно, а импульсами. Среднее напряжение или ток регулируется изменением времени включенного состояния (импульса) внутри фиксированного периода. Чем больше длительность включенного состояния, тем выше среднее значение напряжения или мощности, передаваемой на нагрузку. [1]

PWM -контроллер работает путем переключения между различными уровнями электрического тока в зависимости от того, какой тип выхода требуется от системы, которую он питает – постоянный ток (*DC*) или переменный ток (*AC*).

Контроллер регулирует это переключение с помощью широтно-импульсной модуляции, которая посылает регулярные импульсы через определенные промежутки времени с различными рабочими циклами (процентное время «включения»). [2]

MPPT (*Maximum Power Point Tracking* – отслеживание точки максимальной мощности) – это специальная технология, которая применяется для повышения выходной мощности турбин и фотоэлектрических солнечных модулей в различных обстоятельствах. Он динамически подбирает оптимальное соотношение, обеспечивая отбор максимально возможной мощности (*MPP*) при меняющейся освещенности и температуре. Контроллер *MPPT* может в режиме реального времени определять напряжение, генерируемое солнечными панелями, и отслеживать максимальные значения напряжения и тока, чтобы система могла заряжать аккумулятор с максимальной выходной мощностью. *MPPT* может применяться в фотоэлектрических инверторах для координации с солнечными панелями, батареями и рабочими нагрузками. [3]

Таким образом, принципиальное отличие заключается в том, что *PWM*-контроллер лишь ограничивает ток на уровне, соответствующем напряжению аккумулятора, тогда как *MPPT*-контроллер преобразует избыточное напряжение панели в дополнительный зарядный ток, что и обеспечивает прирост вырабатываемой энергии.

Для визуального представления описанных выше принципов работы на рисунке 1 приведён график прямоугольных импульсов с изменяющейся шириной импульса, что отражает суть широтно-импульсной модуляции. На рисунке 2 показан график мощности, генерируемой 12-вольтовым *MPPT*-контроллером при 100% освещённости, который иллюстрирует способность контроллера удерживать рабочую точку в области максимальной мощности.

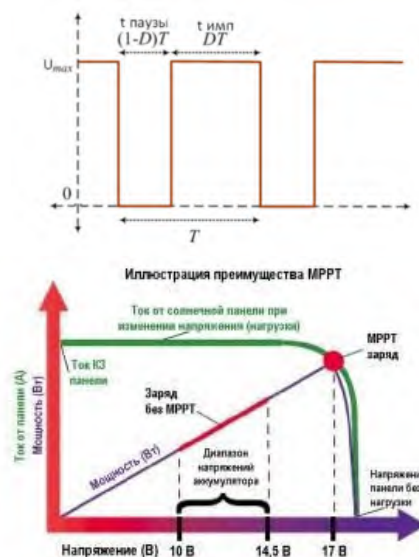


Рисунок 1 – График прямоугольных импульсов с меняющейся шириной импульса, где T – период ШИМ, t – длительность импульса

Рисунок 2 – График мощности 12-и вольтовой *MPPT* контроллера солнечной панели, при 100% освещённости

MPPT контроллеры заряда отличаются своей способностью максимизировать мощность, извлекаемую из солнечных панелей, в широком спектре условий освещенности. Они автоматически адаптируются к изменениям интенсивности солнечного света, что позволяет поддерживать оптимальную производительность даже в облачную погоду или при слабом солнечном свете. В условиях, когда освещенность меняется в течение дня (например, в рассветные или закатные часы), *MPPT* контроллеры способны определять и поддерживать точку максимальной мощности, обеспечивая таким образом более эффективное использование солнечных панелей. [4]

PWM-контроллеры просты и надёжны, но ограничены в эффективности при переменной освещённости. *MPPT*-контроллеры извлекают на 20–30% больше энергии и позволяют последовательно соединять панели, но имеют более высокую стоимость. *MPPT* обеспечивает температурную компенсацию заряда аккумулятора, допускает использование более длинных кабелей за счёт повышенного входного напряжения, эффективнее работает при частичном затенении панелей и лучше подходит для масштабируемых систем. Выбор зависит от требуемой эффективности и бюджета.

Из приведённых определений выявляется ещё одно существенное различие, касающееся характера взаимодействия контроллера с источником энергии. *PWM*-контроллер реализует дискретное управление путём переключения источника питания между состояниями «включено» и «выключено», что по своей сути представляет собой метод регулирования уже существующего уровня мощности без поиска оптимальной рабочей точки. В отличие от него, *MPPT*-контроллер выполняет непрерывное измерение текущих значений напряжения и тока солнечных панелей в реальном времени, что позволяет ему не просто коммутировать сигнал, а активно отслеживать и динамически подбирать оптимальное соотношение между напряжением и током для достижения максимально возможной мощности (MPP). Таким образом, если *PWM* ориентирован на стабильное поддержание заданного режима заряда путём

изменения длительности импульсов, то МРРТ решает более сложную задачу – адаптацию к изменяющимся внешним условиям (освещённости и температуре) с целью извлечения максимума энергии из фотоэлектрического модуля в каждый момент времени.

Главным фактором при выборе контроллера считается будущее назначение с необходимой степенью производительности. С простыми легкими задачами и небольшой солнечной системой справится *PWM*. Если требуется максимальная выработка, то предпочтение стоит отдать *MPPT*. При этом вне зависимости от выбранной технологии решающее значение имеет качество изготовления устройства, которое напрямую зависит от надёжности проверенного производителя.

Заключение. В ходе работы были рассмотрены две основные технологии контроллеров заряда солнечных батарей – *PWM* (широотно-импульсная модуляция) и *MPPT* (отслеживание точки максимальной мощности). Проведённый анализ позволяет сделать вывод, что каждая из технологий имеет свою область применения, и выбор оптимального решения напрямую зависит от конкретных условий эксплуатации, бюджета проекта и требований к эффективности системы. Таким образом, при проектировании солнечной системы необходимо исходить из баланса между начальными затратами и долгосрочной энергетической эффективностью, отдавая предпочтение проверенным производителям вне зависимости от выбранного типа контроллера. Следовательно, для систем с высокой энергетической нагрузкой, ограниченной площадью размещения панелей или нестабильными погодными условиями применение *MPPT* является экономически оправданным, тогда как *PWM* остаётся рациональным выбором для маломощных и бюджетных установок.

Список литературы

1. Что такое ШИМ? – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://digitalweed.ru/ что-такое-шим-pwm/] – Дата доступа: 30.03.2026.
2. Как широтно-импульсная модуляция используется в автоматизации? – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://unitmc.ru/news/что-такое-шим-kak-shirotno-impulsnaya-m/] – Дата доступа: 30.03.2026.
3. Что такое МРРТ? – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://ru.veichi.com/knowledge/what-is-mppt.html] – Дата доступа: 30.03.2026.
4. Сравнение МРРТ с PWM контроллеров заряда – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://e-solarpower.ru/stati/mppt-protiv-pwm-kontrollerov-zaryada/?srsltid=AfmBOoqOgOIfJxJVHhOEaWD0ojsvUYjtPdVkipgO7HrQwzTXb65gewD] – Дата доступа: 30.03.2026.
5. Что такое контроллер заряда солнечной батареи? – 2026 [Электронный ресурс]. – [https://solartime.by/novosti/kakoj-kontroller-zaryada-solnechnoj-batarei-vybrat-pwm-ili-mppt.html] – Дата доступа: 30.03.2026.

UDC 676.7

APPLICATION OF PWM AND MPPT TECHNOLOGIES IN SOLAR BATTERY CHARGE CONTROLLERS

Kudelich K.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Larkin A.D. – Master's degree, Assistant of the department of ICSD

Annotation. Two main technologies for solar battery charge controllers – PWM (Pulse-Width Modulation) and MPPT (Maximum Power Point Tracking) – are examined. Their operating principles, advantages, disadvantages, and key differences are analyzed. A comparison of their efficiency under various operating conditions is performed.

Keywords: pulse-width modulation, PWM, maximum power point tracking, MPPT, solar battery charge controller.