

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(Национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Инфокоммуникационные технологии»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

по теме

«Оптимизация алгоритмов контроллера заряда
аккумуляторов от солнечных батарей»

Руководитель ВКР:

_____ Николаев А.Н.

«__» _____ 2019 г.

Автор работы:

студент группы КЭ-223

_____ Следнев И. С.

«__» _____ 2019 г.

Челябинск
2019

АННОТАЦИЯ

Следнев И.С. Оптимизация алгоритмов контроллера заряда аккумуляторов от солнечных батарей - Челябинск: ЮУрГУ, КЭ, 2019, 42 с, 6 листов чертежей ф. А1, 9 рис., 1 таблица, 1 приложение, 3 листа приложений, 10 источников

Данная работа посвящена разработке алгоритма работы контроллера заряда аккумуляторов от солнечных батарей. Представлены структурная и принципиальная схемы контроллера. Подробно описано обоснование выбранных элементов. Исследована эффективность солнечной электростанции на широте г. Екатеринбурга. Построены соответствующие графики.

					<i>ЮУрГУ ПМ.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Оптимизация алгоритмов контроллера заряда аккумуляторов от солнечных батарей</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разр.</i>		<i>Следнев И.С.</i>						
<i>Проб.</i>		<i>Николаев А. Н.</i>					3	43
<i>Н. Контр.</i>		<i>Спицына В.Д.</i>				<i>ЮУрГУ, Кафедра ИКТ</i>		
<i>Утв.</i>		<i>Даровских С.Н.</i>						

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Анализ технического задания	7
2 Анализ ВАХ солнечной батареи.....	10
3 Анализ освещённости региона.....	15
4 Краткий анализ методов нахождения точки максимальной мощности MPPT контроллеров.....	18
4.1 Методы поиска точки максимальной мощности (ТММ) солнечной батареи	20
5 Предлагаемый алгоритм	22
6 Разработка схемы принципиальной	25
6.1 Расчёт преобразователя на микросхеме LM5116	32
6.2 Расчёт преобразователя на микросхеме TPS560200	34
6.3 Расчёт инвертора напряжения на микросхеме ICL7662CBA	35
7 Принцип работы контроллера.....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	39
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Контроллер заряда. Перечень элементов.....	42

										Лист
										4
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ

электростанции к 2050 году смогут производить до 20-25% мировой электроэнергии [3].

Рассмотрим солнечную энергетику. Структурная схема солнечной электростанции показана на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема солнечной электростанции

Для преобразования энергии солнечного света в электрическую энергию используют солнечные батареи. Эта энергия поступает в аккумулятор. С помощью инвертора напряжения постоянное напряжение аккумулятора преобразуется в переменное 220 В с частотой 50 Гц.

Количество светового потока, падающего на солнечные батареи, ограничено, соответственно, ограничена их выходная мощность. Кроме того, эта мощность ограничена коэффициентом полезного действия (КПД) батарей, а также их согласованием с аккумулятором. Поэтому возникает задача оптимизации системы электроснабжения.

Если КПД батарей после их изготовления улучшить уже невозможно, то оптимизировать их согласование с аккумулятором представляется возможным. Для этого необходимо некоторое промежуточное устройство (контроллер), которое нужно установить в цепь между солнечными батареями и аккумулятором. Контроллеры, осуществляющие передачу максимальной мощности аккумулятору, называются МРРТ-контроллерами (от англ. Maximum Power Point Tracking). Именно оптимизации алгоритмов данного контроллера и посвящена данная работа. В данной работе подробно описан разработанный алгоритм.

1 Анализ технического задания

На рисунке 2 показаны вольтамперные характеристики (ВАХ) солнечного элемента при различных световых потоках [4].

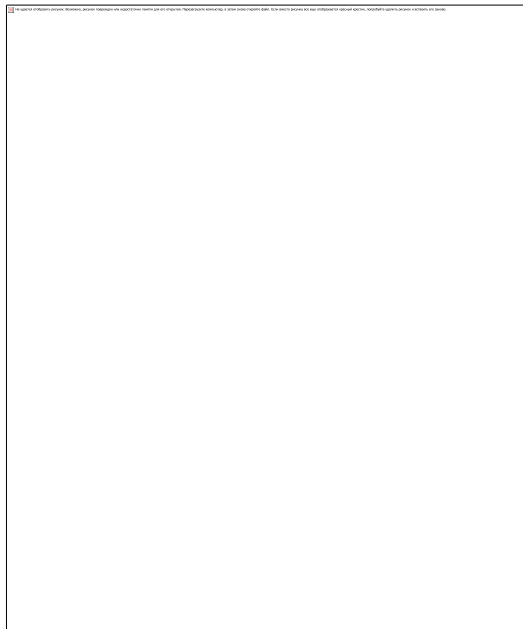


Рисунок 2 – ВАХ солнечного элемента при различных световых потоках

При $\Phi=0$ солнечный элемент ведёт себя как $p-n$ -переход (1-й квадрант). При ненулевых световых потоках ВАХ опускается в четвёртый квадрант, где напряжение имеет знак «+», а сила тока имеет знак «-». Это означает, что в этом квадранте солнечный элемент ведёт себя как источник энергии. Чем больше световой поток, тем больше по модулю ток короткого замыкания.

Рассмотрим ВАХ в четвёртом квадранте при световом потоке Φ_1 . Если на ней взять какую-нибудь точку и опустить перпендикуляры на оси координат, то получится прямоугольник, площадь которого численно равна мощности, выделяемой элементом. Из множества всех точек ВАХ существует такая, в которой мощность имеет максимальное значение. Именно эту точку нужно требуется найти. На рисунке 3 показана зависимость выходной мощности солнечного элемента от напряжения.

					ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

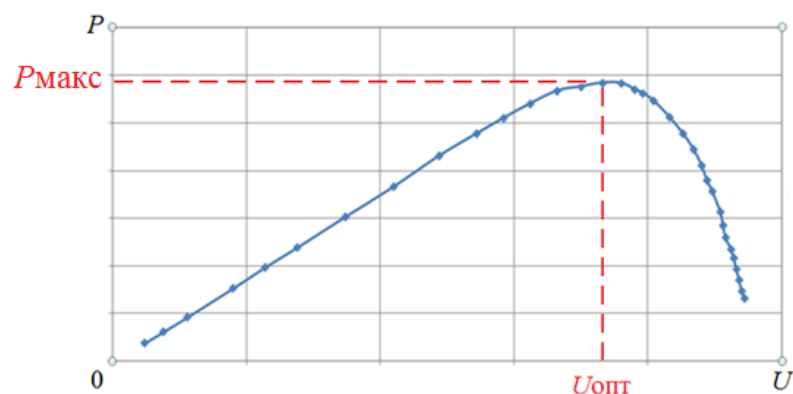


Рисунок 3 – Зависимость мощности от напряжения

На рисунке 4 показана зависимость выходной мощности солнечного элемента от сопротивления нагрузки.

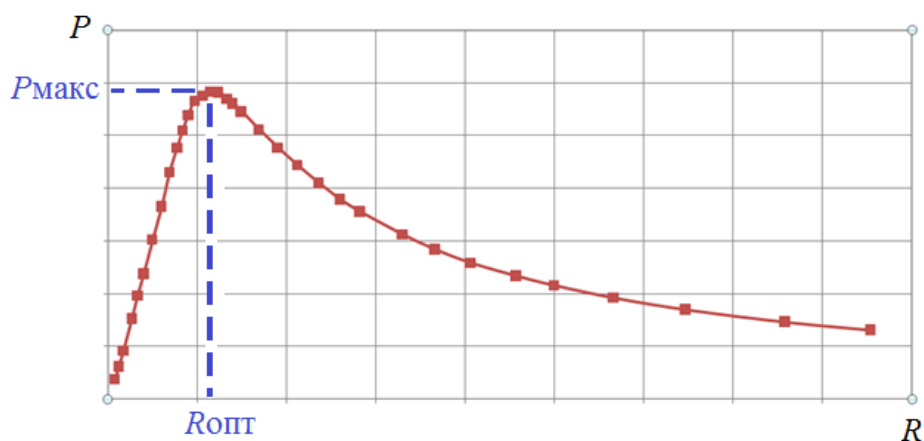


Рисунок 4 – Зависимость мощности от сопротивления

При различных световых потоках будет различная выходная мощность. Кроме того, будет различное оптимальное сопротивление нагрузки, при котором солнечная батарея отдаст максимальную мощность в эту нагрузку.

Данная работа сводится к решению трёх задач:

- согласовать солнечную батарею с нагрузкой при любой освещенности;
- обеспечить безопасный режим заряда аккумулятора;
- режим заряда аккумулятора должен происходить с наименьшими потерями энергии.

MPPT-контроллер измеряет выходную мощность солнечной батареи и с определенным интервалом времени изменяет рабочую точку на ВАХ

(сканирует). Контроллер подстраивает своё входное сопротивление под режим максимальной мощности.

Необходимо также, как было сказано ранее, обеспечить оптимальный режим заряда аккумулятора. В общем случае контроллер, заряжающий аккумулятор, должен быть идеальным источником тока.

Для исследования был приобретён контроллер *MPPT Tracer 2210AN* [5].

					<i>ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

2 Анализ ВАХ солнечной батареи

Теоретическая ВАХ солнечной батареи, которая равномерно освещена (без затенений), описывается уравнением

$$I_H = I_{св} - I_{HT} \left(e^{\frac{U_H}{\varphi_\tau}} - 1 \right), \quad (1)$$

где $I_{св}$ – приращение электронного тока, вызванного освещением (ток короткого замыкания);

- I_{HT} – обратный ток насыщения (алгебраическая сумма дырочного и электронного токов неосновных носителей через p - n -переход в темноте);
- φ_τ – тепловой потенциал (приблизительно 0,025 В при 17 °С);
- I_H – ток, протекающий через нагрузку;
- U_H – напряжение, приложенное к нагрузке [6].

По данной формуле при положительных значениях напряжения, которые меньше напряжения холостого хода, значения тока также будут положительными. Это означает, что ВАХ, построенная по этой формуле, будет находиться в первом квадранте.

Чтобы построить экспериментальную ВАХ солнечного элемента, необходимо собрать схему измерения, которая показана на рисунке 5.

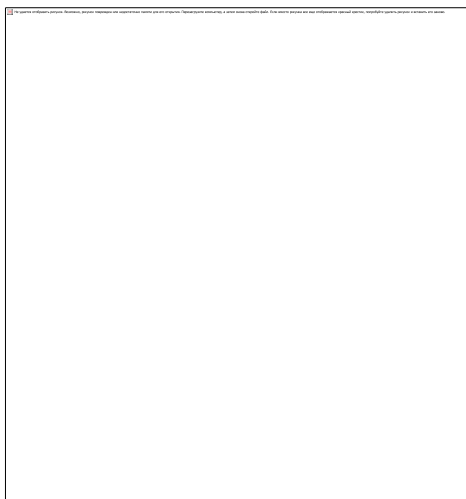


Рисунок 5 – Схема измерения солнечного элемента

На схеме введены обозначения:

GB – исследуемый солнечный элемент;

					ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В качестве значений напряжений были взяты точки от 0 до 37 В с интервалом 0,5 В. Полученная ВАХ показана на плакате.

Зная напряжение и ток, можно найти мощность и сопротивление. На плакате ЮУрГУ-М. 11.04.02.19.162.00 Д6 в левой его части показаны зависимости мощности нагрузки от приложенного напряжения и мощности нагрузки от сопротивления нагрузки без затенений. При описанной выше аппроксимации при напряжении 31 В максимальная мощность равна 248,4 Вт, что соответствует заявленной мощности.

Теперь рассмотрим случай, когда появились затенения на солнечной панели. Солнечная батарея представляет собой совокупность одинаковых фотоэлементов, но при различной освещённости фотоэлемент будет иметь различную ВАХ (рисунок 2). В солнечной батарее используется комбинированное соединение, т.е. комбинация параллельного и последовательного соединений.

Рассмотрим последовательное соединение двух одинаковых фотоэлементов, но при различной освещённости. При меньшей освещённости из двух фотоэлементов, соединённых последовательно, внутреннее сопротивление будет у того больше, у которого меньше освещённость. Общая сила тока ограничена тем фотоэлементом, у которого меньше освещённость. В результате на вольтамперной характеристике всей солнечной батареи могут появляться изломы (рисунок б), но т.к. солнечная батарея является источником электроэнергии, в любом случае дифференциальная крутизна вольтамперной характеристики будет иметь постоянный знак в любой точке. На рисунке ВАХ показана пунктирной линией, а зависимость мощности от напряжения – сплошной [5].

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

Тогда система примет вид

$$\begin{cases} I_H = 8,62 - 5,6473 \cdot 10^{-19} \cdot U_H^{15} \text{ при } U_H \leq 18,5 \text{ В,} \\ I_H = 2,87 - 2,8236 \cdot 10^{-19} \cdot (U_H - 18,5)^{15} \text{ при } U_H > 18,5 \text{ В.} \end{cases}$$

Полученная ВАХ показана на плакате ЮУрГУ-М. 11.04.02.19.162.00 Д6 (правая часть). Также показаны графики зависимостей мощности нагрузки от приложенного напряжения и мощности нагрузки от сопротивления нагрузки.

Из графика зависимости мощности нагрузки от приложенного напряжения видно, что имеются три точки экстремума, из которых две являются точками максимума, а третья – точкой минимума.

Наличие двух точек максимума означает, что из них нужно найти наибольший. Для поиска наибольшего из максимумов возьмём схему пикового детектора.

					<i>ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

3 Анализ освещённости региона

Эффективность солнечной электростанции определяется не только эффективностью составных частей, но и годовой освещённостью, которая в свою очередь зависит от климатических условий.

На плакате ЮУрГУ-М. 11.04.02.19.162.00 Д7 показан график дневной мощности солнечной радиации ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$) в зависимости от месяца для города Екатеринбурга [7].

Величина дневной мощности солнечной радиации по сути является не мощностью, а суммарной энергией, полученной квадратным метром какой-либо горизонтальной поверхностью за одни сутки.

Предположим, что мы имеем несколько солнечных панелей той же модели, которая описывалась ранее. Каждая из них имеет площадь $1,62 \text{ м}^2$ и КПД $17,12 \%$. Также предположим, что у нас есть инвертор напряжения с КПД 93% , который необходим для преобразования постоянного напряжения аккумулятора в переменное 220 В . Напряжение аккумулятора в режиме заряда будем считать равным 26 В (два по 13 В), а заряд – $200 \text{ А}\cdot\text{ч}$.

Переведём дневную мощность солнечной радиации из $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в $\text{МДж}/\text{м}^2$ (в одном $\text{кВт}\cdot\text{ч}$ 3600000 МДж). Это суммарная энергия, полученная за один день в результате солнечного излучения одним квадратным метром горизонтальной поверхности. Если эту энергию преобразовать в электроэнергию с помощью солнечной батареи, то выходная энергия будет составлять $17,12 \%$ от полученной. По определению КПД солнечного элемента – отношение максимальной мощности к полной мощности лучистого потока, падающего на поверхность элемента [4]. Это значит, что здесь предполагается, что аккумуляторы заряжаются от солнечной батареи через MPPT-контроллер. Предполагаем, что его КПД равен 98% . Пренебрежём потерями при заряде аккумулятора. Энергия аккумулятора передаётся потребителю через инвертор напряжения с КПД 93% .

										Лист
										15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ

Предположим, что необходимо обеспечивать ток заряда 20 А. Напряжение на аккумуляторах будем считать равным 26 В (два соединены последовательно по 13 В на каждом).

Максимальная энергия, запасённая в аккумуляторах, равна

$$A_{max} = 26 \cdot 200 \cdot 3600 = 18,72 \text{ МДж.}$$

Рассчитаем для каждого месяца количество солнечных батарей, необходимых для полного заряда аккумуляторов за сутки. Для этого нужно поделить максимальную энергию на энергию, полученную с одного квадратного метра за сутки; полученная величина есть необходимая площадь солнечных панелей, и её необходимо поделить на площадь одной панели.

На плакате ЮУрГУ-М. 11.04.02.19.162.00 Д7 показан график необходимого количества солнечных панелей для полной зарядки аккумулятора за сутки в зависимости от месяца. Из данного графика следует, что в июне для полной зарядки достаточно 4-х солнечных панелей, а в декабре необходимо в 11 раз больше, т. е. 44 панели.

Будем считать, что мы имеем четыре солнечных панели. Рассчитаем среднюю силу тока заряда аккумулятора при получении ими максимальной энергии. Для этого сначала необходимо найти необходимую среднюю мощность заряда, которая равна суммарной энергии с четырёх панелей, делённую на продолжительность дня. Эту среднюю мощность нужно поделить на напряжение заряда (26 В), это и будет необходимая средняя сила тока заряда.

В таблице 1 приведены характеристики солнечной электростанции в зависимости от месяца.

					<i>ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						16
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

на работу в этой точке. Теоретически, при поиске ТММ теряется немного энергии, но эта потеря очень незначительна по сравнению в той дополнительной энергией, которую обеспечивает MPPT-контроллер.

Количество дополнительно полученной энергии при использовании MPPT-контроллера трудно однозначно определить. Основными факторами, влияющими на дополнительную выработку, являются температура и степень заряженности аккумуляторной батареи. Наибольшая добавка к выработке будет при низких температурах модуля и разряженных батареях.

Поэтому обычно при использовании MPPT-контроллеров нужно коммутировать солнечные батареи на более высокое напряжение. Большинство контроллеров может отслеживать точку максимальной мощности в широких пределах. Такое решение также позволит повысить выработку энергии солнечной батареей при пониженных освещенностях. Однако не нужно делать слишком большую разницу между входным и выходным напряжением, иначе КПД контроллера падает.

Текущая цена контроллеров позволяет эффективно их применять при мощности модулей от 200 Вт или если напряжение вашего модуля нестандартное. Это позволит увеличить выработку вашей фотоэлектрической системы без добавления фотоэлектрических модулей. Если вы не используете MPPT контроллер, то вы можете рассматривать недобор энергии от солнечной батареи как потерю части ваших инвестиций в солнечные батареи.

					<i>ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						19
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

4.1 Методы поиска точки максимальной мощности (ТММ) солнечной батареи

1) *Perturb and Observe*

При этом методе проводится периодическое полное сканирование всей вольт-амперной характеристики солнечной батареи (ВАХ) (обычно раз в 2 часа), находится ТММ, и до следующего полного сканирования контроллер «рыщет» от этой точки и вычисляет, как меняется мощность солнечной батареи, и сдвигает рабочую точку на новое напряжение, если при нем мощность больше (рисунок 7).

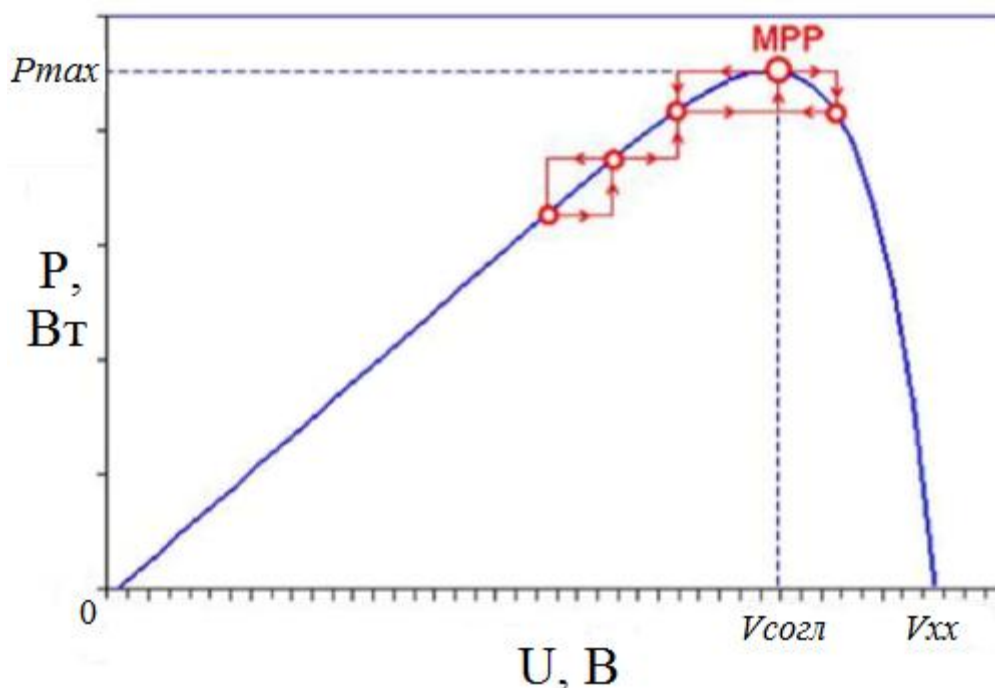


Рисунок 7 – Сканирование ВАХ

Практически во всех контроллерах применяется именно этот метод. Недостатком метода считается постоянная необходимость проводить измерения, во время которых генерация энергии от модулей прерывается. Различные производители подбирают параметры поиска — глубину и частоту итераций, периодичность полного сканирования, — для того, чтобы наиболее оптимально отслеживать точку максимальной мощности солнечной батареи и получать максимальное количество энергии от Солнца.

Многие производители даже имеют фирменные названия для своего метода поиска ТММ, но в конечном счете все эти методы являются реализацией метода «Отклониться и наблюдать» (именно так можно перевести Perturb & Observe). Подавляющее большинство контроллеров не позволяет выбирать параметры метода поиска ТММ. Исключение составляет тайваньский MPPT-контроллер Prosolar Sunstar MPPT.

2) *Scan and Hold*

В данном методе после первичного сканирования напряжение устанавливается на уровне найденной точки и держится до следующего полного сканирования. Такой метод хорош там, где нет облаков и нет затенения модулей. Преимущества – высокая скорость работы, практически нет прерывания генерации на измерения.

3) *Percentage of open circuit voltage*

В этом случае замеряется напряжение холостого хода и рабочая точка выбирается на уровне $k V_{oc}$, где k может быть от 0 до 1, по умолчанию 0,8 (при построении зависимости мощности от напряжения (рис. 3) получено значение 76 %, т. е. $k = 0,76$). Точка держится до следующего сканирования. Такой метод хорош там, где нет облаков и нет затенения модулей. Преимущества — высокая скорость работы, практически нет прерывания генерации на измерения.

4) *Жёсткий выбор рабочей точки*

В данном методе назначается любое напряжение, которое контроллер будет поддерживать. Никаких измерений и вычислений он уже не делает, т. е. работает постоянно. Недостаток – такое напряжение может быть далеко от реальной ТММ. Однако, если известно, при каком напряжении солнечная батарея вырабатывает максимальную мощность, и батарея работает практически постоянно при ясном небе, то можно использовать и этот метод. При запуске системы нужно задать напряжение, которое будет поддерживать контроллер, оно вычисляется исходя из параметров конкретной солнечной батареи.

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

5 Предлагаемый алгоритм

В данной работе за основу был выбран первый алгоритм, т. е. проводится периодическое полное сканирование всей вольтамперной характеристики солнечной батареи. Соответственно, контроллер будет работать в двух режимах: *режим сканирования ВАХ солнечной батареи* и *режим заряда*. На плакате ЮУрГУ-М. 11.04.02.19.162.00 Э1 показана структурная схема контроллера. Опишем эти режимы подробно.

1) Режим сканирования

В режиме сканирования ключ $K1$ выключен. Сопротивление $R1$ изменяется от самого большого значения (теоретически бесконечного) до самого малого (теоретически нулевого). В это время вольтметр V и амперметр (датчик тока) A измеряют напряжение и силу тока соответственно. Таким образом, сканируется ВАХ солнечной батареи. Данные этих измерительных приборов поступают на умножитель $У$, на выходе которого формируется напряжение, пропорциональное измеренной мощности в каждый момент времени. Форма данной характеристики в зависимости от напряжения солнечной батареи будет такой же, как на рисунке 3. Далее необходимо найти максимальное значение напряжения с выхода умножителя. Для этого ставим пиковый детектор, сигнал с которого поступает на устройство выборки/хранения (УВХ), которое при сканировании ВАХ солнечной батареи работает в режиме выборки. Это значит, что выходное напряжение УВХ повторяет выходное напряжение пикового детектора. Значит, по окончании сканирования на выходе УВХ сформировано постоянное напряжение, которое пропорционально максимальной мощности. В конце данного режима сопротивление $R1$ принимает самое большое значение (теоретически бесконечное), а УВХ переходит в режим хранения.

									Лист
									22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

ВАХ солнечной батареи существует только одна точка, в которой мощность принимает максимальное значение. Если менять коэффициент заполнения импульсов, то режим солнечной батареи по постоянному току будет различным. Это означает, что перемещение рабочей точки ВАХ солнечной батареи в режиме заряда осуществляется именно изменением коэффициента заполнения импульсов. На плакате ЮУрГУ-М. 11.04.02.19.162.00 Д8 показаны графики нахождения оптимальной рабочей точки. При перемещении рабочей точки ВАХ возникнет ситуация, когда напряжение на солнечной батарее слегка превысит напряжение делителя сигналов (в том числе по причине разряда конденсатора УВХ). Это означает, что необходимая рабочая точка найдена. Для её фиксации используется компаратор, сравнивающий напряжение делителя сигналов и напряжение солнечной батареи. Сигнал компаратора подаётся на схему обратной связи генератора.

					<i>ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						24
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

аккумулятора, но *p-n*-переход подложка-сток этого транзистора смещён в обратном направлении при нулевом напряжении на стоке транзистора VT10.

Необходимо сделать защиту контроллера от включения обратной полярностью солнечной батареи. Для этого ставим четыре диода 10A10 катодом на плюс солнечной батареи и анодом на общую шину. Таким образом максимальный ток при обратном включении 40 А.

В качестве датчика тока возьмём микросхему ACS712. Питается микросхема от напряжения +5 В, значит, необходим соответствующий источник.

Напряжение на выходе датчика тока вычисляется по правилу:

$$U_{\text{дт}} = \frac{5}{2} + \frac{1}{15} I_{\text{дт}}. \quad (3)$$

В качестве умножителя возьмём микросхему AD633JN, которая имеет два дифференциальных входа (X_1 , X_2 , Y_1 , Y_2) и дополнительное слагаемое Z . Умножитель работает по правилу:

$$W = \frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} + Z. \quad (4)$$

Вывод Z подключается к общей шине.

Питается эта микросхема от двухполярного питания, поэтому необходим источник отрицательного напряжения (-12 В).

Так как умножитель напряжения питается от напряжений + 12 В и -12В, то входные сигналы не должны выходить за указанные пределы. Это значит, что при напряжении солнечной батареи 37 В на вход умножителя X_1 должно подаваться напряжение, пропорциональное напряжению солнечной батареи, но меньшее 12 В. Построим делитель напряжения на резисторах R_{16} и R_{17} . Пусть коэффициент его передачи равен 0,25. Тогда верно равенство

$$\frac{R_{17}}{R_{16} + R_{17}} = \frac{1}{4}.$$

Тогда

$$R_{16} + R_{17} = 4R_{17},$$

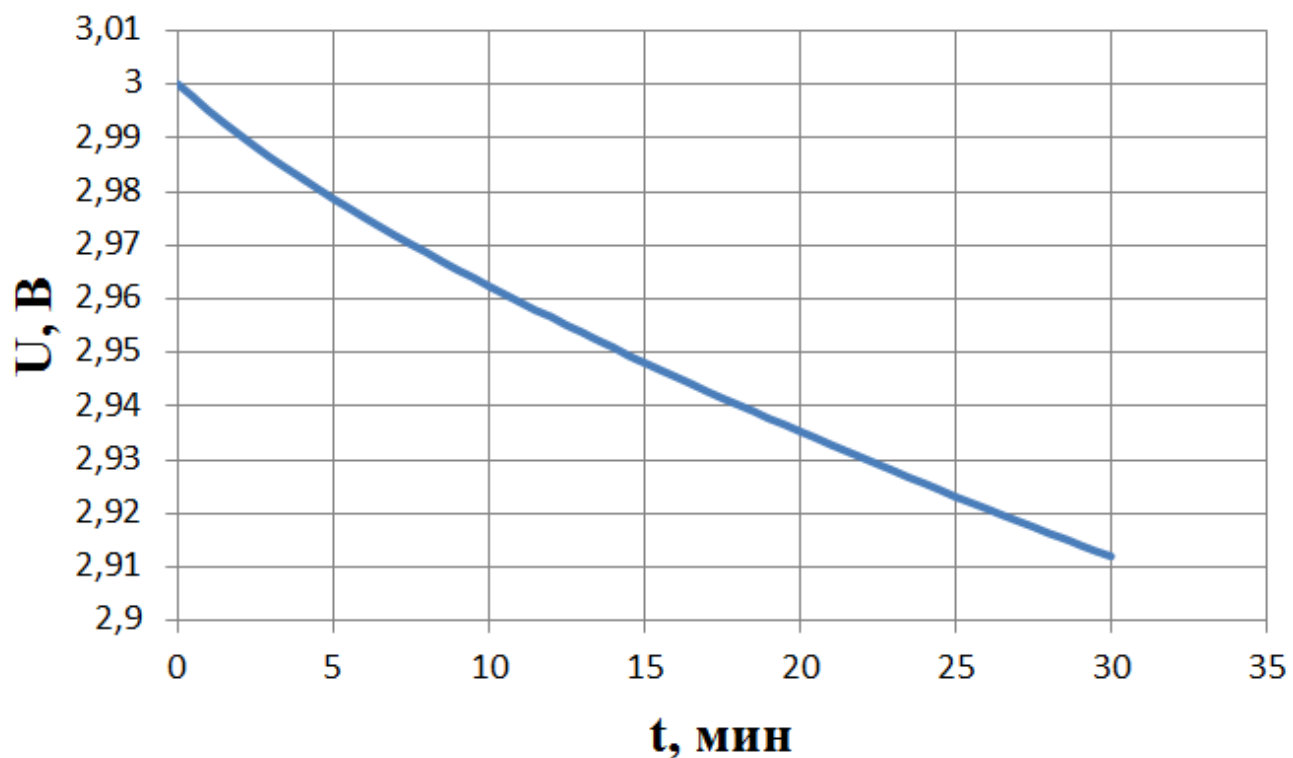


Рисунок 8 – Разрядная характеристика УВХ

В режиме заряда нам необходим делитель. На рисунке 9 показана схема делителя напряжения на основе операционного усилителя и умножителя.

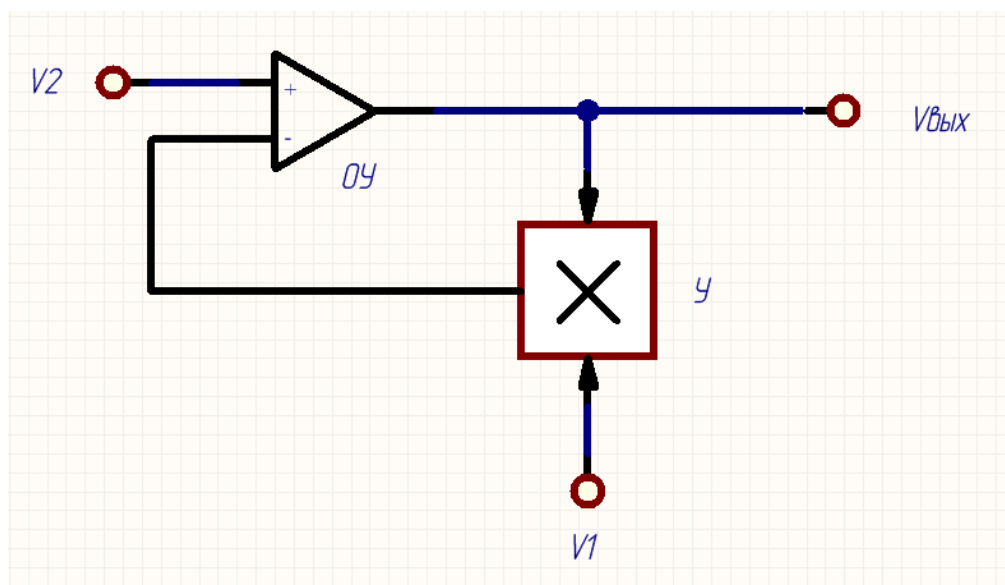


Рисунок 9 – Структурная схема умножителя

напряжения датчика тока. Для этого необходимо, чтобы транзисторы VT4 и VT7 были закрыты, а VT8 и VT9 открыты.

Транзистор VT8 открыт, т. к. потенциал затвора транзистора VT6 меньше потенциала истока (VCC), значит, транзистор VT6 открыт, и на затвор транзистора VT8 подаётся напряжение VCC. Потенциал истока в любом случае не превысит потенциал затвора.

Транзистор VT9 открыт, т. к. потенциал затвора транзистора VT5 меньше потенциала истока (VCC), значит, транзистор VT5 открыт, и на затвор транзистора VT9 подаётся напряжение VCC. Потенциал истока в любом случае не превысит потенциал затвора.

Транзистор VT4 закрыт, т.к. потенциал затвора меньше потенциала истока.

Транзистор VT7 закрыт, т.к. потенциал затвора меньше потенциала истока.

В результате такого включения транзисторов получается схема делителя сигналов, построенная на умножителе и операционном усилителе DA2A, подобно тому, как показано на рисунке 9.

6.1 Расчёт преобразователя на микросхеме LM5116

Резисторы R_{34} и R_{33} необходимы для регулировки отключения генерации схемы в случае, когда входное напряжение снизится ниже определённого порога. Если напряжение на выводе UVLO опустится ниже опорного напряжения (1,215 В), то генерация прекращается. Выберем входное напряжение отключения генерации приблизительно 15 В. Тогда справедливо равенство

$$\frac{1,215}{15} = \frac{R_{33}}{R_{34} + R_{33}},$$

откуда

$$R_{34} = R_{33} \left(\frac{15}{1,215} - 1 \right).$$

Возьмём $R_{33} = 16$ кОм. Тогда

$$R_{34} = 16 \cdot \left(\frac{15}{1,215} - 1 \right) \approx 181,5 \text{ кОм.}$$

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

Возьмём $R_{43} = 620$ кОм.

Пусть время включения будет равно 1,2 мс, тогда $C_{17} = 10$ нФ.

Емкость C_{23} должна удовлетворять условию:

$$C_{23} \geq \frac{Q_g}{\Delta V_{HB}},$$

где Q_g – максимальный заряд затвора, ΔV_{HB} – допустимое отклонение напряжения. Для транзистора *STP150N10F7* заряд при напряжении на затворе 12 В равен 14 нКл, а ΔV_{HB} возьмём 0,7 В (5 % от 14 В). Тогда $C_{23} \geq 200$ нФ. Возьмём $C_{23} = 1$ мкФ.

Между выводами *COMP* и *FB* стоит конденсатор C_{16} , а также цепь из последовательно соединённых конденсатора C_{14} и резистора R_{29} . По рекомендации документации на микросхему $C_{16} = 100$ пФ, $C_{14} = 3300$ пФ,

$R_{29} = 18$ кОм.

В качестве диода VD9 возьмём UF4007.

Сопротивление R_{39} выберем 10 кОм.

6.2 Расчёт преобразователя на микросхеме TPS560200

Датчику тока и компаратору требуется питание +5 В. Для этого соберём схему на микросхеме TPS560200. Частота работы микросхемы равна 600 кГц. На входе и выходе ставятся танталовые конденсаторы 10 мкФ. Индуктивность $L_2=10$ мкГн. Микросхема снабжена источником опорного напряжения 0,8 В. Выходное напряжение настраивается делителем напряжения на резисторах R_{47} и R_{48} . Тогда

$$\frac{0,8}{5} = \frac{4}{5} \cdot \frac{1}{5} = \frac{4}{25} = \frac{R_{48}}{R_{47} + R_{48}},$$

$$25R_{48} = 4R_{47} + 4R_{48},$$

$$4R_{47} = 25R_{48} - 4R_{48},$$

$$4R_{47} = 21R_{48},$$

									Лист
									34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ

$$R_{47} = \frac{21}{4} R_{48}.$$

Возьмём $R_{48} = 16$ кОм. Тогда

$$R_{47} = \frac{21}{4} \cdot 16 = 84 \text{ кОм.}$$

Возьмём $R_{48} = 82$ кОм.

6.3 Расчёт инвертора напряжений на микросхеме ICL7662CBA

Для питания операционного усилителя и умножителя сигналов требуется двухполярное питание. Соберём преобразователь на микросхеме ICL7662CBA. Принцип её работы основан на заряде конденсаторов C_{26} и C_{27} напряжением питания и последующим переключении плюса конденсаторов на общую шину. Для сглаживания пульсаций применяются конденсаторы C_{32} и C_{33} .

					<i>ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						35
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

типом аккумулятора). Поэтому, если напряжения аккумулятора достигнет 14,5 В, то изменения порогового значения напряжение на выводе FB будут связаны не только с включением и выключения транзистора VT13, но и с превышением указанного значения напряжения аккумулятора. В результате в процессе заряда напряжение аккумулятора никогда не превысит указанное значение.

					<i>ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						37
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был предложен алгоритм работы контроллера. Алгоритм представляет собой периодическое сканирование вольтамперной характеристики и последующий заряд. Исходя из предложенного алгоритма разработана схема контроллера.

Проведен анализ освещённости Солнцем земной поверхности на широте города Екатеринбург. Описанный алгоритм хорошо подходит для летнего времени года, т. к. в остальные времена года энергии света недостаточно. С учётом данных климатических условий любой режим заряда аккумулятора будет безопасным при четырёх солнечных панелях.

Данный алгоритм аппаратно можно реализовать на аналоговой элементной базе, и в данной работе представлена именно такая реализация. В дальнейшем будет разработана программа для микроконтроллера и соответственно будет разработана схема для программной реализации.

					<i>ЮУрГУ-М.11.04.02.19.162.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						38
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

