

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АБУ РАЙХАНА БЕРУНИ

На правах рукописи

УДК 621.315.592

Мухутдинов Нургиз Мингалиевич

**«РАЗРАБОТКА И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ВОДЯНОГО НАСОСА ДЛЯ
СОЛНЕЧНОЙ ВОДОПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ»**

Специальность: 5А310801 – Электроника и электронная техника

(Физическая электроника)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание степени магистра по специальности

«Физическая электроника»

Научный руководитель:

д.ф.-м.н. проф. Бахадырхонов М.К.

Заведующий кафедрой «ЭМ»

д.ф.-м.н. проф. Илиев Х.М.

Ташкент – 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	5
1.1 Общие сведения по солнечным батареям	5
1.3 Аккумуляция энергии солнечных батарей.....	11
1.4 Регуляторы зарядки и разрядки аккумуляторов	14
1.5 Инверторы.....	14
1.6 Контроллеры заряда и разряда аккумуляторов.....	16
1.7 MPPT контроллеры.....	17
1.8 Выработка технических требований контроллера	21
2. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИБОРА.....	24
2.1 MPPT	24
2.2 Выбор типа микроконтроллера	32
2.3 Общая характеристика микроконтроллеров AVR.....	35
2.4 Микроконтроллер ATmega16	36
2.5 Разработка схемы повышающего преобразователя	37
2.6 Алгоритмы работы схемы управления контроллера.....	43
2.7 Обработчики прерываний	47
2.8 Разработка схемы микроконтроллерного узла	48
3 Разработка печатных плат, монтаж и наладка электронных блоков....	49
3.1 Изготовление схемы	56
3.2 Изготовление печатных плат	58
3.3 Монтаж и наладка электронных блоков.....	64
3.4 Разработка и отладка программы.....	65
4. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	69
4.1 Анализ полученных осциллограмм.....	69
4.2 Проверка номинальных характеристик	69
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	73
ПРИЛОЖЕНИЕ	75

ВВЕДЕНИЕ

Одно из самых перспективных направлений развития экологически чистой энергетики – использование энергии солнца для получения электроэнергии с помощью фотоэлектрических (солнечных) элементов. Солнечная энергетика использует неисчерпаемый источник энергии и является экологически чистой, то есть не производящей вредных отходов.

Особенно гелиоэнергетика является полезным решением в отдаленных от электросетей местностях. Внедрение солнечной водоподъемной установки в таких областях позволит улучшить и расширять орошаемые территории. Фотоэлектрические водоподъемные (насосные) установки должны быть мало-обслуживаемыми, обладать высокой степенью надежности и эффективности. Следует учитывать, что солнечные водоподъемные установки могут также использоваться как маломощные солнечные электростанции, это дополнительно расширяет их возможности.

В то же время имеется очень большое количество потенциальных потребителей маломощных водоподъемных установок индивидуального использования с производительностью около одного кубометра воды в сутки. Это сельские подворья, полевые станы фермеров, другие удаленные не электрифицированные места проживания, расположенные в сельскохозяйственных районах без постоянного электро- и водоснабжения.

Актуальность разработки заключается в использовании солнечной энергии и решении проблемы связанной с подъемом воды из глубинных мест.

Новизна заключается в способе решения двух важных проблем, таких как добыча воды и недостатка электроэнергии. Так как разработка позволяет осуществлять подъем воды в не электрифицированных регионах.

Практическая ценность разработки в том, что контроллер позволяет максимально эффективно использовать солнечную энергию при помощи современного метода поиска максимально эффективной точки.

В данной диссертационной работе описывается разработка контроллера универсальной солнечной водоподъемной установки индивидуального использования для подъема воды с использованием солнечной энергии. Установка предназначена для контроля заряда и разряда аккумуляторной батареи, а также более эффективного использования солнечной энергии. Контроллер способен отслеживать напряжение и ток подающийся от солнечной панели на аккумуляторную батарею и находить максимальную полезную точку заряда. Одним из важных критериев контроллера является отслеживание температуры аккумуляторной батареи с помощью цифрового термодатчика DS1820 и

установка максимального допустимого заряда, что предотвращает перезаряд аккумуляторных батарей в условиях повышенных температур. Также полезной функцией устройства является отслеживание времени, что позволяет не допустить полного разряда аккумуляторных батарей водоподъемной установки ближе к концу дня и позволяет запастись энергией на ночное время суток, для использования ее на освещение и другую полезную работу.

Основным очень важным элементом в устройстве является микроконтроллер. В данной работе был использован широко известный микроконтроллер фирмы Atmel – ATMega16. Данный микроконтроллер отлично подошел для решения этой задачи, так как имеет 40 выводов и большое количество различной периферии. Для индикации был выбран LCD индикатор, который часто используется в современных устройствах. Устройство позволяет выводить на индикатор ток и напряжение заряда, ток нагрузки, температуру аккумуляторных батарей, реальное время. Также в контроллер можно ввести начальные установки, которые позволяют работать устройству более эффективно. Можно задать тип используемых аккумуляторных батарей, мощность солнечных панелей.

Контроллер является неотъемлемой частью в солнечной энергетике, а так же может выполнять полезную работу для решения любой задачи.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Общие сведения по солнечным батареям

Солнечная батарея — несколько объединённых фотоэлектрических преобразователей (фотоэлементов) — полупроводниковых устройств, прямо преобразующих солнечную энергию в постоянный электрический ток.

Фотоэлемент — электронный прибор, который преобразует энергию фотонов в электрическую энергию.

Наиболее эффективными, с энергетической точки зрения, устройствами для превращения солнечной энергии в электрическую являются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи (ФЭП), поскольку это прямой, одноступенчатый переход энергии. КПД производимых в промышленных масштабах фотоэлементов в среднем составляет 16%, у лучших образцов до 25%. В лабораторных условиях уже достигнут КПД 43,5 % [1].

Преобразование энергии в ФЭП основано на фотоэлектрическом эффекте, который возникает в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения.

Неоднородность структуры ФЭП может быть получена легированием одного и того же полупроводника различными примесями (создание р-п переходов) или путём соединения различных полупроводников с неодинаковой шириной запрещённой зоны — энергии отрыва электрона из атома (создание гетеропереходов), или же за счёт изменения химического состава полупроводника, приводящего к появлению градиента ширины запрещённой зоны (создание варизонных структур). Возможны также различные комбинации перечисленных способов.

Эффективность преобразования зависит от электрофизических характеристик неоднородной полупроводниковой структуры, а также оптических свойств ФЭП, среди которых наиболее важную роль играет фотопроводимость. Она обусловлена явлениями внутреннего фотоэффекта в полупроводниках при облучении их солнечным светом [1].

Основные необратимые потери энергии в ФЭП связаны с:

- отражением солнечного излучения от поверхности преобразователя,
- прохождением части излучения через ФЭП без поглощения в нём,
- рассеянием на тепловых колебаниях решётки избыточной энергии фотонов,
- рекомбинацией образовавшихся фото-пар на поверхностях и в объёме ФЭП,
- внутренним сопротивлением преобразователя,

- и некоторыми другими физическими процессами.

Для уменьшения всех видов потерь энергии в ФЭП разрабатываются и успешно применяются различные мероприятия. К их числу относятся:

- использование полупроводников с оптимальной для солнечного излучения шириной запрещённой зоны;
- направленное улучшение свойств полупроводниковой структуры путём её оптимального легирования и создания встроенных электрических полей;
- переход от гомогенных к гетерогенным и варизонным полупроводниковым структурам;
- оптимизация конструктивных параметров ФЭП (глубины залегания p-n перехода, толщины базового слоя, частоты контактной сетки и др.);
- применение многофункциональных оптических покрытий, обеспечивающих просветление, терморегулирование и защиту ФЭП от космической радиации;
- разработка ФЭП, прозрачных в длинноволновой области солнечного спектра за краем основной полосы поглощения;
- создание каскадных ФЭП из специально подобранных по ширине запрещённой зоны полупроводников, позволяющих преобразовывать в каждом каскаде излучение, прошедшее через предыдущий каскад, и пр.;

Также существенного повышения КПД ФЭП удалось добиться за счёт создания преобразователей с двухсторонней чувствительностью (до +80 % к уже имеющемуся КПД одной стороны), применения люминесцентно переизлучающих структур, предварительного разложения солнечного спектра на две или более спектральные области с помощью многослойных плёночных светоделителей (дихроичных зеркал) с последующим преобразованием каждого участка спектра отдельным ФЭП и т. д.

1.2 Фотоэлементы промышленного назначения

На солнечных электростанциях (СЭС) можно использовать разные типы ФЭП, однако не все они удовлетворяют комплексу требований к этим системам:

- высокая надёжность при длительном (до 25—30 лет) ресурсе работы;
- высокая доступность сырья и возможность организации массового производства;
- приемлемые с точки зрения сроков окупаемости затрат на создание системы преобразования;
- минимальные расходы энергии и массы, связанные с управлением системой преобразования и передачи энергии (космос), включая ориентацию и стабилизацию станции в целом;
- удобство техобслуживания.

Некоторые перспективные материалы трудно получить в необходимых для создания СЭС количествах из-за ограниченности природных запасов исходного сырья или сложности его переработки. Отдельные методы улучшения энергетических и эксплуатационных характеристик ФЭП, например за счёт создания сложных структур, плохо совместимы с возможностями организации их массового производства при низкой стоимости и т. д.

Высокая производительность может быть достигнута лишь при организации полностью автоматизированного производства ФЭП, например на основе ленточной технологии, и создании развитой сети специализированных предприятий соответствующего профиля, то есть фактически целой отрасли промышленности, соизмеримой по масштабам с современной радиоэлектронной промышленностью. Изготовление фотоэлементов и сборка солнечных батарей на автоматизированных линиях обеспечит многократное снижение себестоимости батарей.

Наиболее вероятными материалами для фотоэлементов СЭС считаются кремний, Cu(In,Ga)Se_2 и арсенид галлия (GaAs), причём в последнем случае речь идёт о гетерофотопреобразователях (ГФП) со структурой AlGaAs-GaAs [2].

Таб.1.1 Максимальные значения эффективности фотоэлементов и модулей, достигнутые в лабораторных условиях

Тип	Коэффициент фотоэлектрического преобразования, %
Кремниевые	
Si (кристаллический)	24,7
Si (поликристаллический)	20,3
Si (тонкопленочная передача)	16,6
Si (тонкопленочный субмодуль)	10,4
III-V	
<u>GaAs</u> (кристаллический)	25,1
GaAs (тонкопленочный)	24,5
GaAs (поликристаллический)	18,2
InP (кристаллический)	21,9
Тонкие пленки халькогенидов	
CIGS (фотоэлемент)	19,9
CIGS (субмодуль)	16,6
CdTe (фотоэлемент)	16,5
Аморфный/Нанокристаллический кремний	
Si (аморфный)	9,5
Si (нанокристаллический)	10,1
Фотохимические	

На базе органических красителей	10,4
На базе органических красителей (субмодуль)	7,9
Органические	
Органический полимер	5,15
Многослойные	
GaInP/GaAs/Ge	32,0
GaInP/GaAs	30,3
GaAs/CIS (тонкопленочный)	25,8
a-Si/mc-Si (тонкий субмодуль)	11,7

Факторы, влияющие на эффективность фотоэлементов:

Особенности строения фотоэлементов вызывают снижение производительности панелей с ростом температуры.

Частичное затемнение панели вызывает падение выходного напряжения за счёт потерь в неосвещённом элементе, который начинает выступать в роли паразитной нагрузки. От данного недостатка можно избавиться путём установки байпаса на каждый фотоэлемент панели.

Из рабочей характеристики фотоэлектрической панели видно, что для достижения наибольшей эффективности требуется правильный подбор сопротивления нагрузки. Для этого фотоэлектрические панели не подключают напрямую к нагрузке, а используют контроллер управления фотоэлектрическими системами, обеспечивающий оптимальный режим работы панелей[1].

Элементы солнечной батареи

Модули солнечной батареи наземного применения как правило конструируются для зарядки свинцово-кислотных аккумуляторных батарей с номинальным напряжением 12В. При этом последовательно соединяются 36 солнечных элементов, и далее собираются в модуль. Полученный пакет как правило обрамляют в алюминиевую раму, облегчающую крепление к несущей (опорной) конструкции. Мощность модулей солнечной батареи может достигать 10-300Вт.

Электрические параметры таких модулей отражаются в вольтамперной характеристике (рис. 1.1), определенной при стандартных условиях (т.е. когда мощность солнечной радиации равняется 1000 Вт/м^2 , температура элементов - 25°C и солнечный спектр - на широте 45°). Точка пересечения кривой с осью напряжения называется напряжением холостого хода $V_{\text{х.х.}}$, а с осью тока - током короткого замыкания $I_{\text{к.з.}}$. На этом же графике приведена кривая мощности, получаемой от солнечных элементов в зависимости от нагрузки. Номинальная мощность модуля определяется как наибольшая

мощность при стандартных условиях. Значение напряжения, соответствующее максимальной мощности именуется рабочим напряжением V_p , а соответствующий ток - рабочим током I_p . Значение рабочего напряжения для модуля, состоящего из 36 элементов примерно равно 16-17В (0,45-0,47В/элемент) при 25°C. Такой запас по напряжению нужен для того, чтобы компенсировать уменьшение рабочего напряжения при разогреве модуля солнечным излучением. Температурный коэффициент напряжения холостого хода для кремния составляет - минус 0,4%/градус. Температурный коэффициент тока - плюс 0,07%/градус. Напряжение холостого хода солнечного модуля мало меняется при изменении освещенности, в то время как ток короткого замыкания прямо пропорционален. КПД солнечного модуля определяется как отношение максимальной мощности модуля к общей мощности излучения, падающей на его поверхность при стандартных условиях, и составляет 15-40% [3].



Рис.1.1 Вольт-амперная характеристика солнечной батареи

С целью получения требуемой мощности и рабочего напряжения модули соединяют последовательно или параллельно. Так получают солнечную батарею. Мощность солнечной батареи всегда ниже, чем сумма мощностей модулей - из-за потерь, обусловленных различием в характеристиках однотипных модулей (потери на рассогласование). Чем тщательнее подобраны модули в батарее (то есть, чем меньше различие в характеристиках модулей), тем ниже потери на рассогласование. К примеру, при последовательном соединении десяти модулей с разбросом характеристик 10% потери составляют примерно 6%, а при разбросе 5% - снижаются до 2%.

В случаи затенения одного модуля, или части элементов в модуле, в солнечной батарее при последовательном соединении появляется "эффект горячего пятна" - затененный модуль (или элемент) начинает рассеивать всю производимую освещенными модулями (или элементами) мощность, стремительно нагревается и выходит из строя. Для устранения этого эффекта параллельно с каждым модулем (или его частью) устанавливают шунтирующий диод. Диод нужен при последовательном соединении более

двух модулей. К каждой линейке (последовательно соединенных модулей) также подключается блокирующий диод для выравнивания напряжений линеек. Все эти диоды как правило размещаются в соединительной коробке самого модуля. Схема батареи приведена на рисунке 1.2.

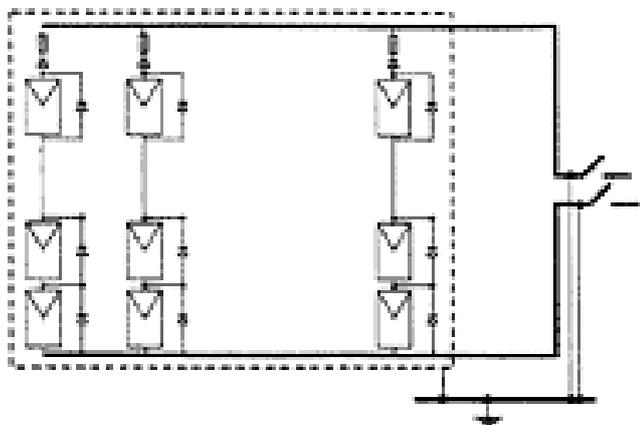


Рис. 1.2. Схема подключения защитных диодов в солнечной батарее

Вольтамперная кривая солнечной батареи имеет тот же вид, что и единичного модуля. Рабочая точка батареи, подключенной к нагрузке, не всегда совпадает с точкой максимальной мощности (тем более, что положение последней зависит от условий освещенности и температуры окружающей среды). Подключение таких нагрузок, как, например, электродвигатель, может сдвинуть рабочую точку системы в область минимальной или даже нулевой мощности (и двигатель просто не запустится). Вследствие этого следующий важный компонент солнечной батареи - преобразователи напряжения, способные согласовывать солнечную батарею с нагрузкой. Общая схема солнечной электростанции показана на рисунках 1.3 и 1.4 .

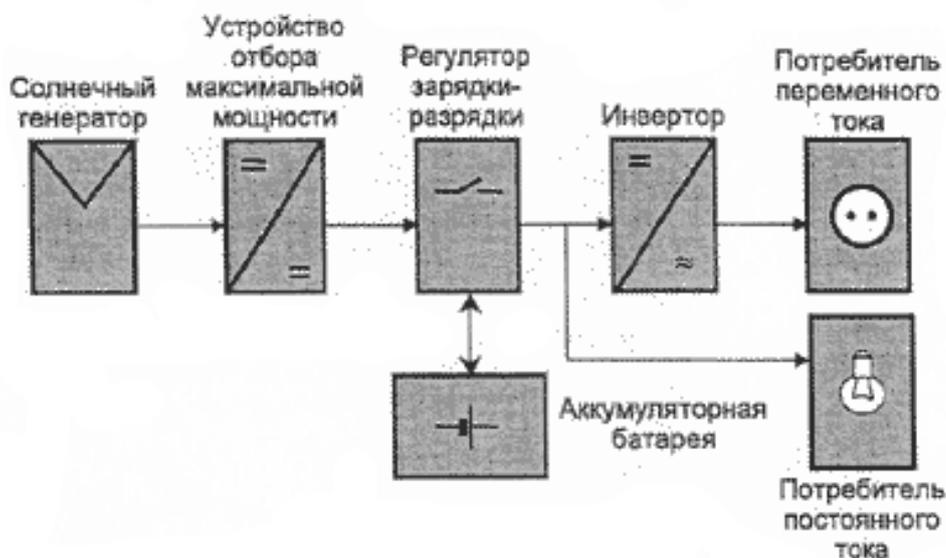


Рис. 1.3. Схема автономной солнечной электростанции



Рис. 1.4. Схема солнечной электростанции объединенной с промышленной электросетью

Регуляторы отбора мощности батареи

Обычно, в этих регуляторах реализуется принцип поиска максимума мощности путем коротких периодических изменений положения рабочей точки. Если при этом мощность на выходе прибора возрастает, то положение рабочей точки меняется в этом направлении при последующем шаге. Таким образом, непрерывно оптимизируется нагрузочная характеристика для отбора максимальной мощности, а также обеспечивается возможность регулировки в широком динамическом диапазоне и формирования импульсов тока, способных зарядить аккумуляторную батарею даже в условиях слабой освещенности. Этот достаточно простой алгоритм может быть улучшен запоминанием часто повторяющихся направлений смещения рабочей точки (для устранения шагов смещения в ложных направлениях), что бывает важно в условиях быстро меняющейся освещенности. На выходе регулятора формируются импульсы постоянного тока, ширина и частота следования которых зависят от мощности, производимой солнечной батареей в данный момент. При этом, если рабочее напряжение нагрузки ниже, чем рабочее напряжение модуля, то можно получать большие значения токов в нагрузке, чем ток короткого замыкания батареи. Нужно учитывать, что регуляторы имеют КПД 0,85-0,95[3].

1.3 Аккумуляция энергии солнечных батарей

Выработанную солнечной батареей энергию можно сохранять в разных формах:

- химическая энергия в электрохимических аккумуляторах;
- потенциальная энергия воды в резервуарах;
- тепловая энергия в тепловых аккумуляторах;
- кинетическая энергия вращающихся масс или сжатого воздуха.

Для солнечных батарей больше подходят электрические аккумуляторы, так как солнечные батареи производят, а потребитель потребляет электроэнергию, которая

непосредственно и запасается в аккумуляторе. Исключение - солнечные станции для водоснабжения, где потребляется вода, а энергия запасается в потенциальной энергии воды в водонапорной башне[2].

В большинстве фотоэлектрических систем применяют свинцово-кислотные аккумуляторы. Нужно сразу подчеркнуть, что аккумуляторы, специально предназначенные для солнечных батарей (и других подобных систем), существенно отличаются от стартерных автомобильных аккумуляторов, пусть даже имеющих в основе ту же технологию.

Главными условиями по выбору аккумуляторов являются:

- стойкость к циклическому режиму работы;
- способность переносить без последствий глубокий разряд;
- низкий саморазряд аккумулятора;
- нечувствительность к нарушению условий зарядки и разрядки;
- долговечность;
- простота в обслуживании;
- компактность и герметичность (важный критерий для переносных или периодически демонтируемых солнечных батарей).

Этим требованиям в полной мере удовлетворяют аккумуляторы, изготовленные по технологиям "dryfit" и AGM (адсорбированный электролит) или рекомбинационной технологии. Они характеризуются отсутствием эксплуатационных затрат и перекрывают диапазон емкостей 1-12000 А•ч, что позволяет удовлетворять требованиям всех потребителей[4].

Эти аккумуляторы отличаются пониженным газовыделением и рекомбинацией кислорода. Вследствие этого вода электролита не разлагается и не испаряется, и такие аккумуляторы не требуют доливки электролита. К примеру, аккумуляторы одной из фирм с трубчатыми положительными пластинами, имеют следующие характеристики:

- большой срок службы - 15 лет;
- стойкость к циклическому режиму - более 1200 циклов;
- отсутствие необходимости обслуживания в течение всего срока службы;
- минимальное газовыделение (благодаря применению сплава без сурьмы и использованию технологии внутренней рекомбинации газа);
- саморазряд - примерно 3% в месяц.

Вследствие высокой стоимости таких аккумуляторов, появляется желание использовать обычные стартерные свинцово-кислотные аккумуляторные батареи (автомобильный аккумулятор). Срок службы таких аккумуляторов в составе солнечной

батареи - не более 3-5 лет. Вследствие этого за срок использования солнечной батареи (15-20 лет и более) необходимо будет менять аккумуляторы (к этому добавятся затраты на обслуживание аккумуляторов и оборудование помещений).

С целью получения требуемого рабочего напряжения аккумуляторы или аккумуляторные батареи соединяют последовательно. При этом следуют определенным правилам:

- используют аккумуляторы только одного типа, произведенные одним изготовителем;
- эксплуатируют все аккумуляторы одновременно, не делая отводов от отдельных аккумуляторов составляющих аккумуляторную батарею;
- не объединяют аккумуляторы с разницей в дате выпуска более чем на месяц в одну аккумуляторную батарею;
- обеспечивают разницу температур отдельных аккумуляторов не более 3°C.

Ради продления срока службы аккумуляторов при циклическом режиме работы в солнечных батареях важно не допускать глубокого разряда. Уровень разряда характеризуется глубиной разряда, которая выражается в процентах от номинальной емкости аккумулятора.

На рисунке 1.5. изображена зависимость емкости аккумулятора (в процентах от номинальной) от количества отработанных циклов при различной глубине разряда (аккумуляторы FIAMM GS). Таким образом, эксплуатация аккумуляторов при глубоком разряде ведет к их более частой замене и, соответственно, к удорожанию системы. Глубину разряда аккумуляторов солнечных батарей стараются ограничить на уровне 30-40%, что достигается отключением нагрузки (или снижением мощности) либо использованием аккумуляторов большей емкости[3].

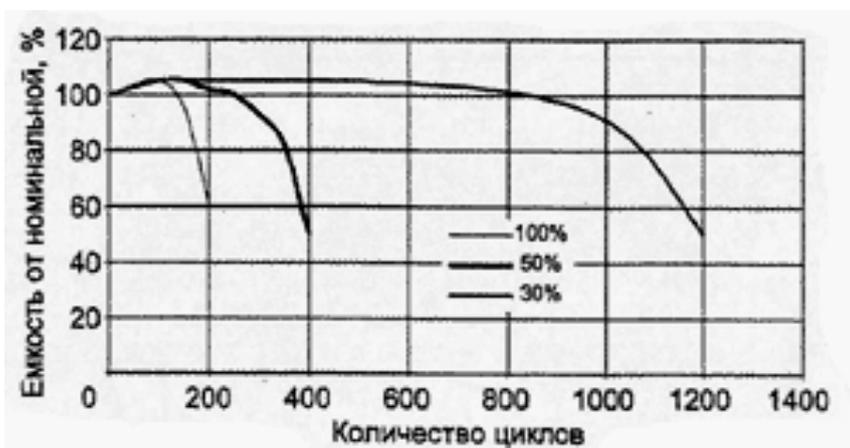


Рис. 1.5. Зависимость емкости аккумулятора от количества отработанных циклов при различной глубине разряда

Вследствие этого, для управления процессом зарядки и выбора оптимального режима, в состав солнечной электростанции обязательно включают контроллеры зарядки-разрядки аккумуляторной батареи.

1.4 Регуляторы зарядки и разрядки аккумуляторов

Стоимость регулятора заряда составляет не выше 5% от стоимости всей системы (однако от качества зарядных регуляторов зависит то, как часто придется менять аккумулятор). Чтобы предохранить батарею от избыточной разрядки, нагрузка должна быть отключена, когда напряжение батареи опускается ниже напряжения отключения. Нагрузка не должна подключаться до момента, когда напряжение не возрастет до определенного значения (напряжения подключения). Имеются довольно противоречивые стандарты этих значений. Они зависят от конструкции определенных батарей, производственного процесса и срока службы аккумуляторных батарей. В некоторых моделях регуляторов применяется звуковой сигнал, который сообщает пользователю о скором отключении питания[1].

Чтобы защитить батарею от перезарядки надо ограничить зарядный ток при достижении напряжения завершения зарядки. Напряжение начнет снижаться, пока не достигнет другого порога, называемого напряжением возобновления заряда. Небольшие солнечные электростанции имеют склонность к перепотреблению энергии (а не к перезарядке) вследствие этого допускается перезарядка, и при этом нужно применять более высокое напряжение завершения заряда.

Выше изложенное относится к регуляторам для автономных солнечных электростанций небольшой мощности (до 1кВт). У более мощных системах функции контроля зарядки и разрядки берет на себя системный контроллер (управляющий также всей системой). Как правило, это устройство сопряжено с компьютером (осуществляющим к тому же постоянный мониторинг за работой элементов с записью значений освещенности, температуры, тока и напряжения для дальнейшего анализа).

1.5 Инверторы

Солнечный генератор (каким бы сложным и большим он не был) может вырабатывать лишь постоянный ток. К счастью, имеется много потребителей, использующих именно постоянный ток (зарядка аккумуляторов, освещение, радиоаппаратура и т.д.), но потребителей переменного напряжения 220В ни меньше. Для преобразования

постоянного тока аккумуляторной батареи в переменный синусоидальной формы, нужен инвертор[5].

Инверторы - полупроводниковые приборы. Они могут быть поделены на два типа в соответствии с типом фотоэлектрических систем:

- инверторы для автономных систем солнечных батарей;
- инверторы для сетевого использования.

Выходной каскад у обоих типов во многом похож, а основное отличие в схеме управления. Первый тип имеет генератор частоты, а второй должен работать синхронно с промышленной сетью (и в качестве генератора частоты использует саму сеть).

Для всех типов ключевой параметр - КПД (который должен быть более 90%). Выходное напряжение автономных инверторов как правило составляет 220В (50/60 Гц), а в инверторах мощностью 10-100кВт можно получать трехфазное напряжение 380В. Все автономные инверторы трансформируют постоянный ток аккумуляторных батарей. Вследствие этого входное напряжение выбирается из ряда 12, 24, 48 и 120В.

Чем больше входное напряжение, тем проще инвертор и тем выше его КПД. При больших напряжениях существенно меньше потери на передачу энергии от солнечного генератора к аккумуляторной батарее, регулятору зарядки и инвертору, однако при этом усложняется конструкция солнечной электростанции и ее эксплуатация при опасных напряжениях (выше 40 В). К форме выходного сигнала автономных инверторов предъявляются менее жесткие требования. В ряде случаев (если позволяет нагрузка) возможно использование инверторов с трапециевидным выходным сигналом. Такие инверторы стоят в 2-3 раза дешевле инверторов с синусоидальным выходным сигналом.

Важный параметр автономных инверторов - зависимость КПД от мощности подключенной нагрузки. КПД не должен значительно снижаться при подключении нагрузки в десять раз меньшей (по потребляемой мощности), чем номинальная мощность инвертора. Вместе с тем инвертор должен выдерживать перегрузки в выходных цепях (при подключении электродвигателей и прочих динамичных нагрузок). Таким образом, к автономному инвертору предъявляются следующие требования:

- способность переносить без последствий перегрузки (как кратковременные, так и длительные);
- маленькие потери при малых нагрузках и на холостом ходу;
- стабилизация выходного напряжения;
- низкий коэффициент гармоник;
- высокий КПД;
- отсутствие помех на радиочастотах.

Иностранные фирмы предлагают широкий ассортимент инверторов, специально разработанных для солнечных батарей. Такие инверторы уже имеют блок регулятора отбора максимальной мощности, блок регулятора заряда, а также дополнительный вход подключения дизель-генератора (для экстренной подзарядки аккумуляторной батареи).

К выходному сигналу сетевых инверторов предъявляются наиболее жесткие требования. Для понижения потерь на преобразование такие инверторы работают при высоких входных напряжениях. Поскольку их входные цепи запитываются напрямую от солнечной батареи, инверторы имеют регулятор отбора максимальной мощности (встроенный в инвертор). Сетевые инверторы имеют также блок контроля мощности солнечной батареи (и включаются автоматически, как только мощность солнечной батареи становится достаточной для формирования переменного сигнала).

1.6 Контроллеры заряда и разряда аккумуляторов

Любая автономная система электроснабжения, содержащая в своем составе аккумуляторные батареи, должна содержать в себе средства контроля заряда и разряда аккумуляторов.

Особенно это относится к системам со свинцово-кислотными аккумуляторами. Дело в том, что эти аккумуляторы боятся как глубокого разряда, так и перезаряда. В случае перезаряда, резко сокращается срок службы аккумуляторной батареи или даже она может выйти из строя. Если же аккумулятор заряжен, но через него продолжает протекать зарядный ток, то это может привести в закипанию электролита и бурному газовыделению (в случае с заливными батареями) или к вспучиванию и даже взрыву герметичных аккумуляторных батарей[3].

Щелочные батареи хотя и не боятся глубокого разряда, но также не терпят перезаряда.

Поэтому в систему автономного электроснабжения вводятся устройства, которые отключают нагрузку от аккумуляторных батарей если они недопустимо разряжены, а также отключают источник энергии (фотоэлектрическую батарею, ветротурбину и т.п.) если аккумуляторы заряжены. Контроллеры заряда могут быть встроены в инверторы или блоки бесперебойного питания. В ББП обычно встраиваются и зарядные устройства.

Напряжения отключения нагрузки для свинцово-кислотных батарей обычно лежат в пределах от 10,5 до 11,5 В. Для 12 В аккумуляторных батарей при более чем 10-часовом разряде это означает использование от 100% до 20% номинальной емкости. При более быстрых разрядах количество отбираемой емкости уменьшается.

Напряжение отключения источника энергии обычно равно 14-14,3 В. Это предотвращает газовыделение при заряде аккумуляторных батарей. Существуют контроллеры заряда, в которых предусмотрен режим "выравнивания". Такой режим необходим периодически для заливных батарей, напряжение заряда при этом должно быть около 15 В. Для герметичных батарей такой режим запрещен.

Часто напряжения отключения можно регулировать при изготовлении или настройке. Но, в основном, контроллеры заряда продаются с уже установленными " типовыми " уровнями напряжений отключения.

Типы контроллеров заряда-разряда для фотоэлектрических систем.

Контроллеры заряда для фотоэлектрических систем бывают 2-х основных типов - шунтовые и последовательные. В шунтовых контроллерах солнечная батарея замыкается накоротко; таким образом, ток от солнечной батареи течет через шунт и не попадает в аккумулятор. Такой принцип работы не позволяет подключать ко входу контроллера другие источники энергии, кроме фотоэлектрических батарей. В последовательных контроллерах источник энергии отключается от аккумулятора и нагрузки. Напряжение на источнике энергии поднимается до значения напряжения холостого хода[4].

Каждый тип контроллеров имеет свои преимущества и недостатки.

Контроллеры заряда также отличаются по алгоритму заряда на последней стадии заряда при достижении напряжения заряженного аккумулятора.

Простейшие контроллеры просто отключают источник энергии (солнечную батарею) при достижении напряжения на аккумуляторной батарее примерно 14,4 В (для АБ номинальным напряжением 12В). При снижении напряжения на АБ до примерно 12,5-13 В снова подключается солнечная батарея и заряд возобновляется. При этом максимальный уровень заряженности АБ при этом составляет 60-70%. При регулярном недозаряде происходит сульфатация пластин и резкое сокращение срока службы АБ.

Более продвинутые контроллеры на завершающей стадии заряда используют так называемую широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) тока заряда. При этом возможен заряд АБ до 100%.

1.7 МРРТ контроллеры

Если вы хотите увеличить выработку энергии вашими солнечными батареями без добавления солнечных панелей, то вам нужно заменить ваш солнечный контроллер на контроллер со слежением за точкой максимальной мощности (ТММ) солнечной батареи. Такой контроллер позволит в большинстве случаев увеличить выработку электроэнергии по сравнению с ШИМ контроллерами .

MPPT контроллеры появились на рынке в конце 80-х годов. Постепенно они стали применяться все шире и шире, и в будущем, скорее всего, все контроллеры будут иметь функцию слежения за ТММ солнечного модуля. Сейчас на рынке появились MPPT контроллеры с улучшенной схемотехникой, надежными электронными компонентами и с управлением микропроцессором[5].

В простых контроллерах солнечный модуль подключается к аккумулятору напрямую, таким образом напряжение их сравнивается. В реальности же оптимальное напряжение солнечной батареи почти всегда отличается от напряжения на аккумуляторе. Типичный 12В аккумулятор требует для полного заряда поддерживать заряд при 14,4В в течение 2-4 часов. Эта стадия называется стадией абсорбции (насыщения).

PV Panel IV Curve

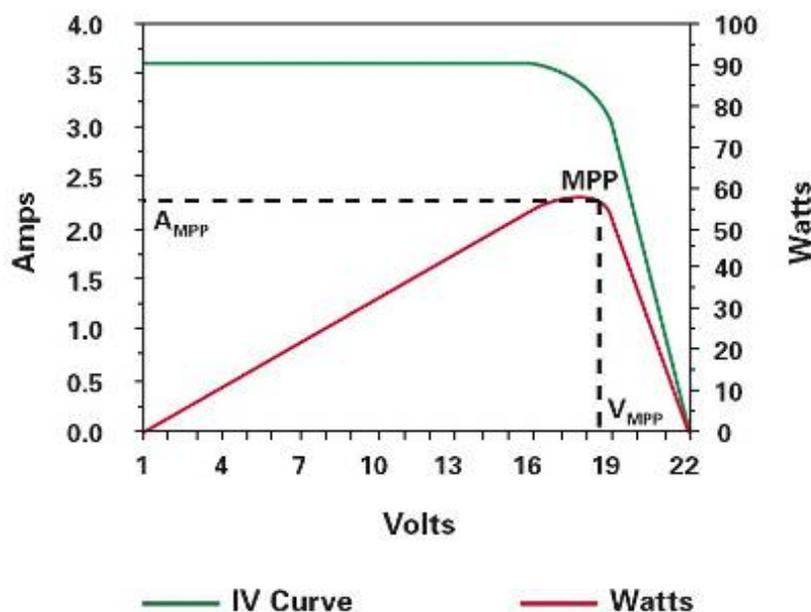


Рис. 1.6 Вольт-амперная характеристика солнечной батареи.

Если посмотреть на типичную вольт-амперную характеристику солнечной батареи (рис. 1.6), можно увидеть, что выработка энергии может быть увеличена, если контроллер заряда будет следить за точкой максимальной мощности солнечной батареи.

Типичный MPPT контроллер постоянно отслеживает ток и напряжение на солнечной батарее, перемножает их значения и определяет пару ток-напряжение, при которых мощность СБ будет максимальной. Встроенный процессор также следит, на какой стадии заряда находится аккумулятор (наполнение, насыщение, выравнивание, поддержка) и на основании этого определяет, какой ток должен подаваться в аккумуляторы. Одновременно процессор может давать команды на индикацию параметров на табло (при наличии), хранение данных, и т.п.

Точка максимальной мощности может вычисляться разными способами. В простейшем случае контроллер последовательно снижает напряжение от точки холостого хода до напряжения на аккумуляторе. Точка максимальной мощности будет находиться где-то в промежутке между этими значениями[6].

Положение ТММ зависит от нескольких параметров - от освещенности модуля, температуры, разнородности используемых модулей и т.д. Контроллер периодически пытается немного "отойти" от найденной на предыдущей стадии точки в обе стороны, и если мощности при этом увеличивается, то он переходит 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 МРРТ контроллер.

Встроенный преобразователь постоянного тока поддерживает разное напряжение на входе и выходе контроллера. Это похоже на работу бесступенчатой коробки передач в автомобиле, которая поддерживает оптимальные обороты двигателя при разной скорости движения автомобиля.

Количество дополнительно полученной энергии при использовании МРРТ 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.

Чем горячее солнечный модуль, тем меньше напряжение на модуле и, соответственно, выработка энергии солнечной батареей. В какие-то моменты точка максимальной мощности может быть ниже напряжения на аккумуляторе, и в этом случае вы не получите никакого выигрыша в выработке энергии по сравнению с ШИМ контроллером. Такое же влияние оказывает и частичное затенение солнечной батареи.

Поэтому обычно при использовании МРРТ 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.

Уменьшение потерь в проводах.

Для вычисления потерь в проводнике можно воспользоваться формулой

$$P = I^2 \times R \quad (1.1)$$

Таким образом, можно увидеть прямо пропорциональную зависимость - уменьшая ток в 2 раза, потери уменьшаются в 4 раза. Если уменьшить ток в 4 раза, то потери уменьшатся в 16 раз, и т.п. Но какое либо изменение напряжения со стороны фотоэлектрических модулей не приведут к каким либо последствиям, следовательно можно значительно сократить потери при получении той же самой мощности[6].

В каких случаях можно использовать MPPT контроллеры?

На сегодняшний день стоимость контроллеров этого класса позволяет эффективно их применять при мощности модулей от 200 Вт. Или же напряжение вашего модуля нестандартное. Это даёт возможность увеличить производительность вашей ФЭС без увеличения количества фотомодулей. Если в вашей системе не используется MPPT контроллер, то всю недополученную энергию вы можете рассматривать как потерю части ваших инвестиций в солнечные фотопанели[6].

Сравнение параметров и возможностей MPPT контроллеров различных производителей:

Часто возникает вопрос, какой контроллер выбрать. Так как на рынке в последнее время появилось множество моделей MPPT контроллеров, зачастую покупателям трудно сделать правильный выбор. Мы провели сравнительный анализ наиболее популярных моделей MPPT контроллеров из нашего ассортимента, который приведен в таблице ниже.

Таблица 1.2

Модель/ Параметры	<u>EPSolar Tracer</u>			<u>Steca</u>	<u>Morningstar</u>			<u>Prosolar SunStar</u>				<u>Outback</u>		<u>Xantr</u> <u>ex</u>
	<u>MPPT</u>			<u>Solarix</u>	<u>MPPT</u>			<u>MPPT</u>				<u>FlexMax</u>		
	1210 / 1215	2210/ 2215	4210/ 4215	MPPT 2010	<u>Sun</u> <u>Saver</u>	TS- 45	TS- 60	SS- 50C	SS- 80C	SS- 40C X	SS- 80C X	FM - 60	FM - 80	
Максимальный ток заряда АБ, А	10	20	40	20	15		5	550	80	40	80	60	80	60
Диапазон MPPT, В	12-100/12-150			17-100		12-140		16-112		16-192		12-140		
Максимальное напряжение, В	100/150			100	75	150		140		240		150		150
Напряжение АБ, В	12/24			12/24	12/24	12/24/ 36/48		12/24/36/48				12/24/ 36/48/60		
Стадий	4			4	4			4				5		5

заряда									
Встроенная индикация	LED		LED	LED		LCD		LCD	LCD
Выносная панель управления и индикации	MT-2	MT-5	нет					MATE	XW-SCP
Возможность изменения настроек	Выбор типа АБ		✓1	✓2	Меню	Меню		Меню	Меню
Количество управляющих реле	нет		нет	нет		2		1	1
Коммуникационные возможности	нет		нет	RJ-11	RJ45 3	RJ45 4	RJ45-USB5		XanBus
Хранение данных	нет		нет	нет	✓6		✓7		✓8
Регулирование по SOC9	нет		нет	нет		✓		✓10	нет
Алгоритм поиска ТММ11	P&O		P&O	P&O		P&O, S&H, % Voc, HIV		P&O, % Voc	
Наличие контроля нагрузки/максимальный ток	до12 (10А)	до (20А)	до (20А)	до (10А)	до (15А)	нет		✓13	✓13
Собственное потребление	10 мА		10 мА	< 1 Вт	2,7 Вт	< 2 Вт		< 4 Вт	< 1 Вт
									2,5 Вт

Сокращения: LED — светодиодные индикаторы, LCD -жидкокристаллический дисплей

1.8 Выработка технических требований контроллера

Основные требования к блоку управления

1. Удовлетворение принятым международным стандартам безопасности

2. Использование легко доступной стандартной элементной базы.
3. Простота конструкции и соответственно низкая стоимость устройства.
4. Легкость последующей модернизации конструкции.

Общие требования стандартов

Анализируя тексты стандартов можно выделить важнейшие общие технические требования, предъявляемые к блоку управления.

Требования к механической части конструкции электроаппаратов:

ГОСТ Р 51321.1-2000 (МЭК 60439-1-92) Общие требования к конструкции

Электроаппараты должны изготавливаться только из материалов, способных выдерживать механические, электрические и тепловые нагрузки, а также воздействие влажности, которое обычно имеют место при нормальных условиях эксплуатации.

Аппараты должны быть предназначены для работы:

- при воздействии механических факторов – по ГОСТ 17516-72;
- при температуре окружающего воздуха в зависимости от категории

размещения аппаратов по ГОСТ 15150-69 климатического исполнения У от минус 10 до плюс 40°C.

Блок управления должен соответствовать 3 категории исполнения, то есть, предназначен для эксплуатации в закрытых помещениях (объемах) с естественной вентиляцией без искусственно регулируемых климатических условий, где колебания температуры и влажности воздуха и воздействие песка и пыли существенно меньше, чем на открытом воздухе.

Требования безопасности

Конструкция аппаратов должна соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.2.007.6-75 и при соблюдении требований и правил эксплуатации должна быть пожаробезопасной и безопасной для людей.

Общие требования безопасности электротехнических изделий

ГОСТ 12.2.007.0-75 Изделия электротехнические Общие требования безопасности [1].

Изоляция частей изделия, доступных для прикосновения, должна обеспечивать защиту человека от поражения электрическим током.

Устанавливаются пять классов защиты: 0; 0I; I; II; III.

К классу 0 должны относиться изделия, имеющие, по крайней мере, рабочую изоляцию и не имеющие элементов для заземления, если эти изделия не отнесены к классу II или III.

К классу 0I должны относиться изделия, имеющие, по крайней мере, рабочую изоляцию, элемент для заземления и провод без заземляющей жилы для присоединения к источнику питания.

К классу I должны относиться изделия, имеющие, по крайней мере, рабочую изоляцию и элемент для заземления. В случае, если изделие класса I имеет провод для присоединения к источнику питания, этот провод должен иметь заземляющую жилу и вилку с заземляющим контактом.

К классу II должны относиться изделия, имеющие двойную или усиленную изоляцию и не имеющие элементов для заземления.

К классу III следует относить изделия, предназначенные для работы при безопасном сверхнизком напряжении, не имеющие ни внешних, ни внутренних электрических цепей, работающих при другом напряжении.

Электрическая схема изделия должна исключать возможность его самопроизвольного включения и отключения.

Пожарная безопасность изделия и его элементов должна обеспечиваться как в нормальном, так и в аварийном режимах работы.

Обеспечение электробезопасности техническими способами и средствами.

ГОСТ 12.1.019-79 (СТ СЭВ 4830-84) Государственный стандарт СССР. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность.

Для обеспечения защиты от случайного прикосновения к токоведущим частям необходимо применять следующие способы и средства:

- защитные оболочки;
- безопасное расположение токоведущих частей;
- изоляция токоведущих частей (рабочая, дополнительная, усиленная, двойная);
- малое напряжение;
- защитное отключение;
- предупредительная сигнализация, блокировка, знаки безопасности.

Технические способы и средства применяют отдельно или в сочетании друг с другом так, чтобы обеспечивалась оптимальная защита.

2. РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИБОРА

2.1 МРРТ

Максимальная мощность, генерируемая фотоэлектрической батареей, зависит от условий эксплуатации: интенсивности солнечного света, окружающей температуры, условий теплообмена. В течение дня освещенность меняется за счет суточного движения солнца, за счет затенения облаками и местными предметами, температура меняется и за счет ветра[6].

При изменении всех этих условий положение максимума мощности на кривой ВАХ меняется, поэтому слежение за максимумом мощности (maximum power point tracking - МРРТ) в реальных условиях эксплуатации – один из путей повышения эксплуатационного КПД фотоэлектрических батарей на 15-20%. Методы нахождения точки максимальной мощности начинают использоваться в контроллерах заряда аккумуляторов фотоэлектрических станций для улучшения эффективности.

Известно несколько поисковых и непоисковых алгоритмов реализации МРРТ метода. Проанализируем наиболее распространенные алгоритмы реализации, а также выявим их преимущества и недостатки.

Поисковые методы

Perturb and observe (P&O)

Этот метод получил широкое распространение на практике, в виду простоты его реализации. На рисунке 1 показано семейство кривых мощностей солнечной панели, выраженных как функции напряжения (P-V кривые) при различных уровнях освещенности (G) и постоянной температуре. Эти кривые имеют максимум (т.н. точка МРР).

В общем случае P&O алгоритм работает по следующей схеме. Допустим, что солнечная батарея функционирует в точке А характеристики, которая не является точкой МРР. В P&O алгоритме значение напряжения солнечной панели изменяется (за счет действия регулируемого преобразователя напряжения) путем постепенного его инкрементирования (декрементирования) и измеряется результирующее изменение мощности - ΔP . Если $\Delta P > 0$, то изменения рабочего напряжения привели к смещению рабочей точки ближе к точке МРР. Таким образом, дальнейшие изменения напряжения в том же направлении (т.е. при сохранении алгебраического знака инкремента) будут двигать рабочую точку по направлению к МРР. Если $\Delta P < 0$, то это означает, что рабочая

точка проскочила MPP и необходимо изменить знак инкремента на противоположный, чтобы вернуться обратно в MPP. Блок-схема P&O алгоритма приведена на рисунке 3.

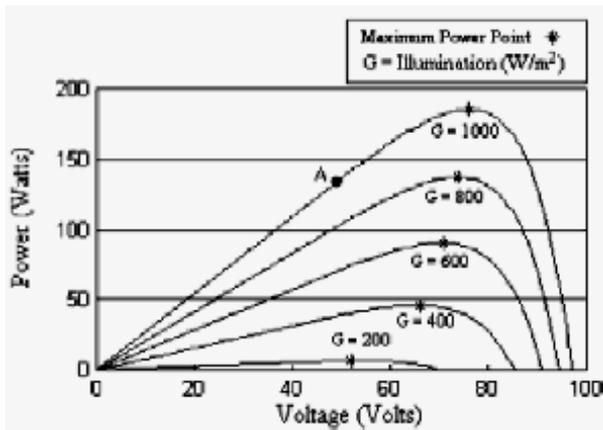


Рис. 2.1. Семейство P-V кривых при различных уровнях освещенности.

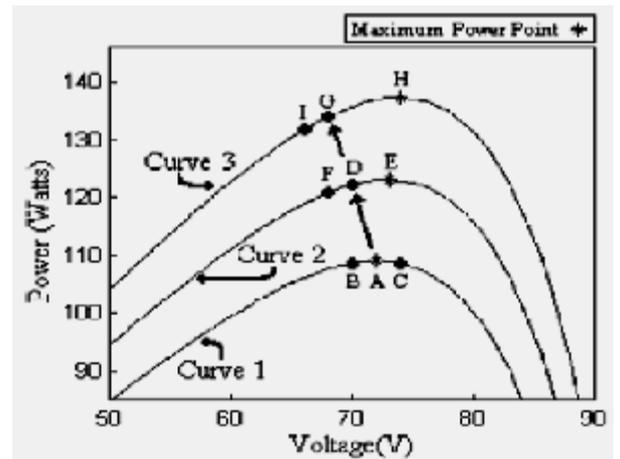


Рис. 2.2 Сдвиг рабочей точки солнечной панели при изменении освещенности.

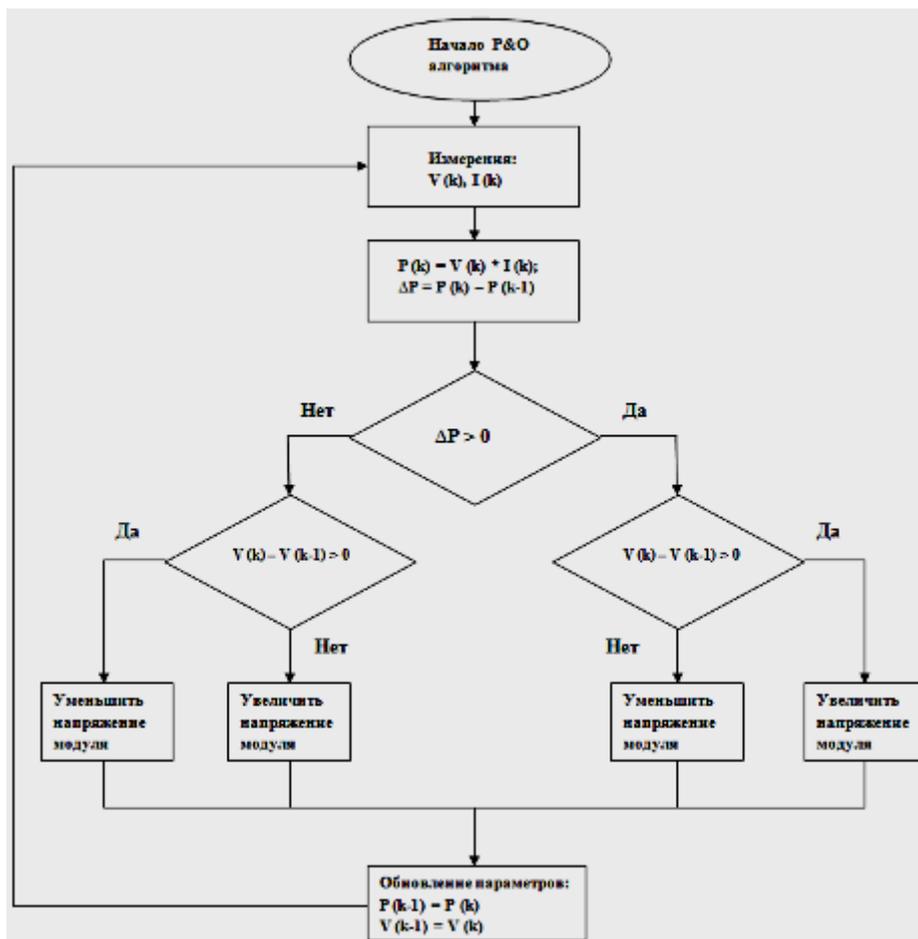


Рис. 2.3. Блок-схема алгоритма Perturb and observe [1]

Преимущество данного метода, как уже отмечалось – простота реализации. Однако P&O имеет свои ограничения, снижающие эффективность МРРТ. Одно из таких ограничений состоит в том, что с уменьшением светового потока, P-V кривые приобретают пологую форму и становится сложнее определить МРР, так как изменения напряжения приводят к малым изменениям мощности. Другой существенный недостаток P&O алгоритма - он не может определить точно положение МРР точки. Вместо этого происходят колебания около МРР, меняющие знак инкремента, после каждого измерения ΔP . Также было показано, что P&O проявляет неустойчивость при резких колебаниях светового потока. Рассмотрим случай, изображенный на рисунке 2.3.

При определенной интенсивности светового потока мы имеем соответствующую кривую 1 (curve 1). На ней будут происходить колебания рабочей точки из В в А, из А в С, и обратно. Предположим, что световой поток возрастет и кривая 1 перейдет в кривую 2 (curve 2). Если во время быстрого роста освещенности и выходной мощности рабочая точка сдвигалась от А к В, P&O, в действительности переведет точку А в точку D. В результате $\Delta P > 0$ и рабочая точка будет и дальше перемещаться по направлению к точке F. Если световой поток продолжает увеличиваться, точка F кривой 2 перейдет в точку G кривой 3 (curve 3). Снова $\Delta P > 0$ и точка G будет перемещена в точку I. Таким образом, последовательный переход от точки А к точке I фактически привел к уходу в другую сторону от МРР. Разумеется, эффективность P&O при этом падает. Данная ситуация может возникнуть в облачные дни[7].

Incremental Conductance (InCond)

Суть алгоритма можно уяснить, продифференцировав мощность P солнечной батареи по напряжению V, учитывая, что в точке МРР производная обращается в нуль:

$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(VI)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0, \quad \text{в точке МРР.} \quad (2.1)$$

Перепишем уравнение (1) в таком виде:

$$-\frac{I}{V} = \frac{dI}{dV} \quad (2.2)$$

Можно заметить, что левая часть уравнения (2.2) представляет собой выражение мгновенной проводимости, а правая – значение дифференциальной проводимости солнечной батареи. Таким образом, эти две величины в точке максимума равны по абсолютной величине и противоположны по знаку. Если рабочая точка смещена относительно МРР, то из уравнения (2.2) можно вывести два неравенства, которые будут указывать, находится ли рабочая точка левее или правее точки МРР. Все сказанное можно подытожить набором математических соотношений:

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad \left(\frac{dP}{dV} = 0 \right) \quad (2.3a)$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \quad \left(\frac{dP}{dV} > 0 \right) \quad (2.3b)$$

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \quad \left(\frac{dP}{dV} < 0 \right) \quad (2.3c)$$

Неравенства (2.3b) и (2.3c) позволяют определить направление, в котором должно осуществляться инкрементирование напряжения, пока не будет достигнута MPP точка, т.е. пока не будет удовлетворено уравнение (2.3a). На рисунке 2.4 изображена блок-схема InCond алгоритма.

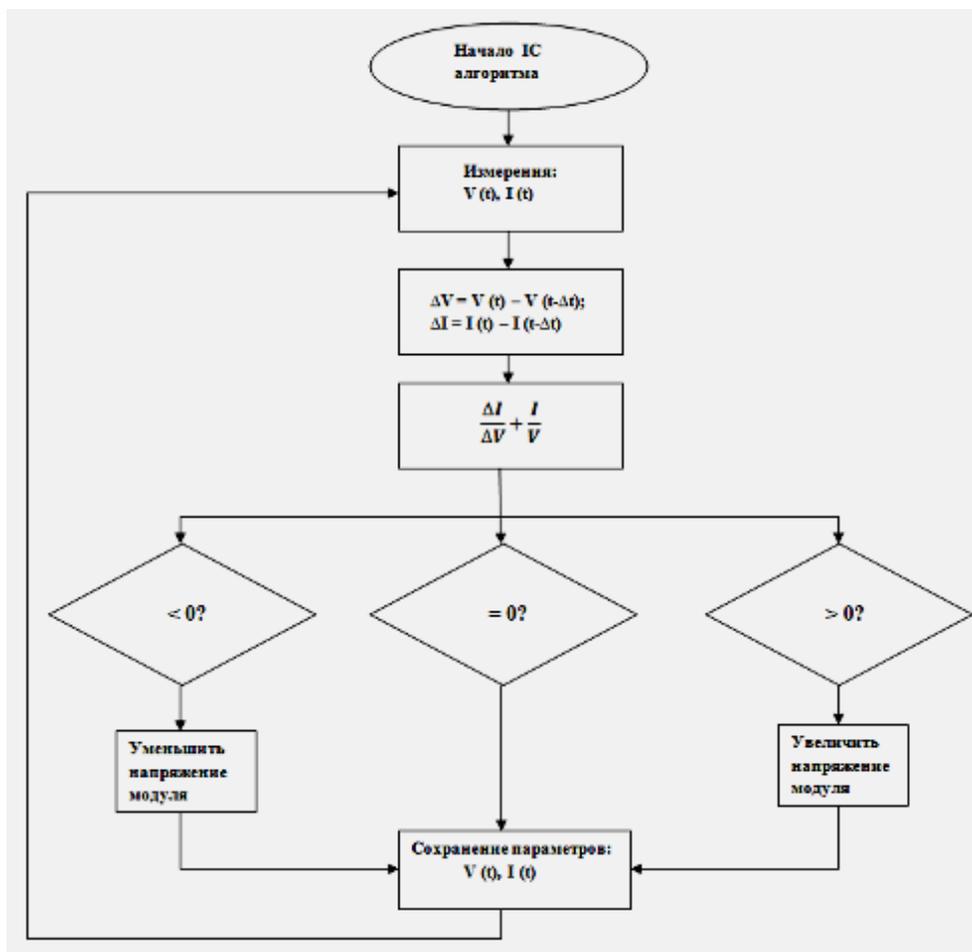


Рис. 2.4. Блок-схема алгоритма Incremental Conductance

Напряжение и ток солнечной батареи в данный момент и их предыдущие значения используют, чтобы подсчитать приращения тока dI и напряжения dV .

Если окружающие условия не изменились, то $dI=0$ и $dV=0$ и алгоритм продолжает оставаться в точке максимума. Если $dV=0$ и $dI > 0$, то световой поток увеличился, повышая тем самым напряжение в точке MPP. Необходимо повысить рабочее напряжение

солнечной панели, чтобы отыскать MPP. Наоборот, если $dI < 0$, то световой поток уменьшился, понижая тем самым напряжение в точке максимума. Требуется понизить рабочее напряжение солнечной батареи.

Если $dI/dV > -I/V$, то $dP/dV > 0$ и рабочая точка находится левее максимума. Поэтому необходимо повысить рабочее напряжение панели. Аналогично, если $dI/dV < -I/V$, то $dP/dV < 0$, то рабочая точка лежит правее точки максимума. Нужно понизить рабочее напряжение солнечной батареи, чтобы передвинуться в сторону максимума.

Преимущество InCond метода перед P&O состоит в том, что при резко меняющихся внешних условиях, он не сдвинет рабочую точку солнечной панели в неверном направлении по отношению к точке MPP.

Ripple correlation control (RCC)

В данном методе проводится анализ знаков производной мощности dp/dt и производной тока di/dt или напряжения dv/dt по времени, которые возникают при нормальной работе импульсного преобразователя напряжения, эти пульсации можно использовать полезным образом для поиска MPP.

Выражения $dp/dt \cdot di/dt$ или $dp/dt \cdot dv/dt$ имеют положительный знак слева от точки MPP, отрицательный знак справа от точки MPP и нуль в точке максимума. Фактически этот метод – суть уже известного InCond метода, потому имеет те же самые преимущества и недостатки.

dP/dV или dP/dI feedback control

dP/dV или dP/dI feedback control представляет собой методику вычисления наклона кривой мощности, выражаемую как функция тока (P-I характеристика) или напряжения (P-V характеристика). Данные о значении наклона кривой по цепи обратной связи подаются на контроллер с тем, чтобы сдвинуть рабочую точку в точку, где значение наклона равно нулю (это и есть точка MPP). Опять, данный метод принципиально не отличается от InCond метода.

Приближенные непоисковые методы

Как известно, имеет место приближительная линейная зависимость между напряжением максимума мощности и напряжением холостого хода (аналогично, между током максимума мощности и током короткого замыкания) [1]. Коэффициент пропорциональности зависит от температуры и слабо зависит от освещенности. Недостаток этих методов – неточность определения максимума, а достоинство – высокое быстроедействие.

Fractional open circuit voltage

В данном методе используют примерно линейную зависимость между напряжением в точке MPP (V_{MPP}) и напряжением холостого хода (V_{OC}), которое меняется при изменении температуры и освещенности:

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{OC} \quad (2.4)$$

Здесь k_1 – константа, которая определяется заранее, по известным V_{MPP} и V_{OC} при различных уровнях освещенности и температуры. Значение константы k_1 лежит в диапазоне примерно от 0,71 до 0,78.

При известном k_1 , напряжение V_{MPP} может определяться периодически, путем измерения V_{OC} . Чтобы измерить V_{OC} , контроллер заряда должен отключаться, что приводит к энергетическим потерям. Еще один недостаток метода – использование линейной зависимости, как первого приближения. Поэтому метод является приближенным.

Fractional short circuit current

Аналогично предыдущему методу здесь используется зависимость между током короткого замыкания I_{SC} и током в точке максимума I_{MPP} при изменяющихся внешних условиях:

$$I_{MPP} \approx k_2 I_{SC} \quad (2.5)$$

Коэффициент k_2 для каждой панели имеет свое значение и определяется как и в предыдущем методе. Значение k_2 колеблется в пределах от 0,78 до 0,92.

Измерение тока короткого замыкания во время работающей системы представляет собой некоторую проблему. Обычно требуется дополнительный ключ, который периодически замыкает накоротко солнечную батарею, чтобы измерить I_{SC} . В качестве ключа можно использовать, к примеру, полевой транзистор. В данном методе есть свои недостатки. Короткое замыкание солнечной батареи ведет к неизбежному рассеиванию в ней дополнительной мощности. Как и в предыдущем методе, зависимость между током максимума и током короткого замыкания выражается простейшей линейной аппроксимацией, поэтому не стоит ожидать высокой точности нахождения точки MPP с помощью этого метода.

Метод вычисления максимума, в котором максимальная точка вычисляется исходя из физических параметров солнечной батареи, освещенности и температуры, используя формулы аналитического описания p-n перехода. Хотя метод более точен, чем

предыдущие но требует знания тока насыщения солнечных элементов – параметра, достаточно сложно и неточно измеряемого.

Приближенные непоисковые методы МРРТ практически не применяются.

Метод прямого (непосредственного) поиска перебором.

Идея метода проста: Весь диапазон возможных напряжений на P-V характеристике фотоэлектрической батареи разбивается на n точек: V_1, V_2, \dots, V_n . От количества этих точек зависит точность нахождения максимума. Далее вычисляются соответствующие значения мощности $P: P(V_1), P(V_2), \dots, P(V_n)$. Сравнивая между собой эти значения, находят максимальную мощность - $P(V_{mpp})$, а по ней и точку V_{mpp} .

Основной недостаток - требуется значительное время для проведения измерений и памяти контроллера для хранения всех точек ВАХ солнечной батареи. Кроме того, во время измерений сложно использовать мощность, генерируемую батареей. Однако данный метод позволяет определить глобальный максимум мощности.

В изменяющихся внешних условиях (локальное затенение) или при повреждении части элементов солнечной батареи, не исключена ситуация, когда на кривой мощности, на фоне глобального максимума, могут появиться несколько локальных максимумов.

Все вышеперечисленные поисковые методы дойдя до первого попавшегося максимума, который может оказаться локальным, уже будут неспособны найти глобальный максимум.

На рисунке 5 показаны результат моделирования ВАХ 6-вольтовой солнечной батареи с защитными антипараллельными диодами, составленной из двух одинаковых, параллельно включенных, секций по 18 элементов в каждой. Локальное затенение 4 из 18 элементов одной из секций приводит к значительной деформации суммарной ВАХ, и появлению на кривой мощности двух локальных максимумов.

Следует отметить, что при меньшем количестве затененных элементов этот эффект не проявляется. Однако, при увеличении крутизны ВАХ батареи (из-за улучшения качества солнечных элементов) эффект двух локальных максимумов будет проявляться сильнее, и при меньшем затенении.

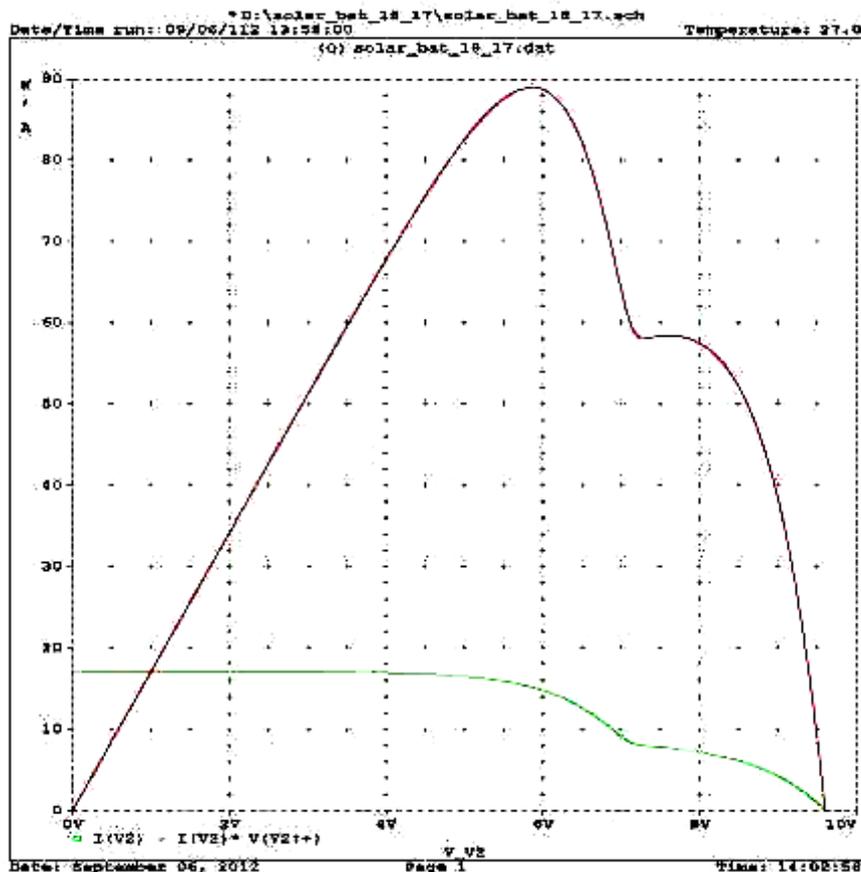


Рис.2.5 Кривые тока и мощности в зависимости от напряжения для 6-вольтовой солнечной батареи (две параллельные секции по 18 элементов) в условиях затенения 10% солнечных элементов.

Несколько улучшить положение может увеличение величины шагов в поисковых методах, но это существенно ухудшает точность слежения.

Предлагается усовершенствование поисковых методов МРРТ улучшением точности определения начального приближения.

Усовершенствованный метод МРРТ основан на периодическом нахождении глобального максимума мощности способом прямого перебора. Найденная точка глобального максимума запоминается и, в дальнейшем, используется в качестве начального приближения для любого из поисковых алгоритмов. Это позволяет уменьшить потери КПД метода прямого поиска, среднее время поиска максимума за счет более точного начального приближения, повышается вероятность попадания системы в глобальный максимум мощности, и, тем самым, минимизируются потери за счет локального затенения или повреждения элементов.

Весьма важным является выбор условий, при которых происходит переход от поисковых методов к поиску глобального максимума.

В простейшем случае можно запускать метод прямого поиска по таймеру, с периодичностью примерно в один час. Однако для реализации преимуществ метода желательно поставить период между прямыми поисками в зависимость от частоты и величины вариаций освещенности – то есть проводить прямой поиск чаще при плохой погоде.

При плохой погоде необходимо и чаще «перезапускать» поисковую часть алгоритма с запомненной точки глобального максимума.

При реализации алгоритма необходимо учитывать, что точка глобального максимума зависит от температуры и освещенности. Поэтому нет смысла сохранять непосредственное значение максимума.

Здесь можно использовать закономерности, используемые в непоисковых методах. Так, можно хранить значение начального приближения в виде коэффициента, равного отношению тока максимума к току короткого замыкания (этот коэффициент слабо зависит от освещенности). Можно также ввести коррекцию этого коэффициента от температуры солнечной батареи. Кроме того, возможности современных микроконтроллеров позволят вычислять точку начального приближения по достаточно сложным формулам.

При реализации поисковой части алгоритма следует использовать методики безколебательного поиска (**Incremental Conductance**).

2.2 Выбор типа микроконтроллера

Если представить все типы современных микроконтроллеров (МК), то можно поразиться огромным количеством разнообразных приборов этого класса, доступных потребителю. Однако все эти приоры можно разделить на следующие основные типы:

- Встраиваемые (embedded) 8-разрядные МК;
- 16- и 32-разрядные МК;
- Цифровые сигнальные процессоры.

Промышленностью выпускаются очень широкая номенклатура встраиваемых МК. В них все необходимые ресурсы (память, устройства ввода-вывода и т.д.) располагаются на одном кристалле с процессорным ядром. Если подать питание и тактовые импульсы на соответствующие входы МК, то можно сказать, что он как бы «оживет» и с ним можно будет работать. Обычно МК

содержат значительное число вспомогательных устройств, благодаря чему обеспечивается их включение в реальную систему с использованием минимального количества дополнительных компонентов. В состав этих МК входят:

- Схема начального запуска процессора (Reset);
- Генератор тактовых импульсов;
- Центральный процессор;
- Память программ (E(E)PROM) и программный интерфейс;
- Средства ввода/вывода данных;
- Таймеры, фиксирующие число командных циклов.

Intel 8051

Следующий микроконтроллер Intel 8051, выпущенный в 1980 году, стал поистине классическим образцом устройств данного класса. Этот 8-битный чип положил начало целому семейству микроконтроллеров, которые господствовали на рынке вплоть до недавнего времени.

Аналоги 8051 выпускали советские предприятия в Минске, Киеве, Воронеже, Новосибирске, на них выросло целое поколение отечественных разработчиков.

Большинство фирм производителей микроконтроллеров и сегодня выпускают устройства, основанные на этой архитектуре. Среди них Philips, Atmel, Dallas, OKI, Siemens — можно перечислить более полутора десятков имен. Но 51-е семейство постепенно сдает свои позиции более молодым и совершенным микроконтроллерам.

Motorola и Zilog

Другими яркими представителями восьмиразрядных микроконтроллеров явились изделия компаний Motorola (68HC05, 68HC08, 68HC11) и Zilog (Z8).

Motorola длительное время не предоставляла средств, позволяющих дешево и быстро начать работать с ее контроллерами, что явно не способствовало их популярности у некорпоративных разработчиков. Однако стоит заметить, что за рубежом микроконтроллеры от Motorola занимают лидирующее положение на рынке. В нашей стране их популярность не очень высока, возможно, еще в силу отсутствия достаточного количества доступных учебных материалов и средств разработки.

Микроконтроллеры фирмы Zilog, основанной бывшими сотрудниками Intel, еще недавно казавшиеся столь многообещающими, не выдержали гонки в стремительно

развивающемся секторе рынка, и сегодня система команд Z8 выглядит достаточно устаревшей.

Microchip

Первые значительные перемены произошли с появлением PIC-контроллеров фирмы Microchip. Эти чипы предлагались по рекордно низким ценам, что позволило им в короткий срок захватить значительную часть рынка микроконтроллеров. К тому же кристаллы от Microchip оказались не уступающими, а нередко и превосходящими микроконтроллеры x51 по производительности и не требовали дорогостоящего программатора.

Вместе с контроллерами появились дешевые комплекты PICSTART, содержащие все, что было нужно для того, чтобы, не имея ни средств, ни навыков работы с PIC-контроллерами, быстро создать и отладить на нем продукт.

Эти микроконтроллеры имели хорошие порты, но все остальное было сделано весьма неудобно. Архитектура оставляла желать лучшего, система команд была крайне ограничена. Тем не менее, PIC-контроллеры остаются популярными в тех случаях, когда требуется создать недорогую систему, не предъявляющую высоких требований по ее управлению.

Scinex

На волне успеха PIC-контроллеров появились очень похожие на них изделия фирмы Scinex. Они обладали уже 52-мя командами против PIC-овских 33-х. Были добавлены хорошие инструкции для работы с памятью, улучшена архитектура, каждая команда выполнялась за один такт, что при прочих равных условиях было вчетверо быстрее, чем у Microchip, и к тому же их тактовая частота достигала 100 МГц.

Столь высокая скорость контроллера позволяет его создателям отказаться от различной периферии — таймеров, счетчиков, регистров сдвига в приемопередатчиках, — все это рекомендуется реализовывать чисто программными средствами, благо быстродействия для этого хватает: внутри — лишь сверхбыстрое ядро, память да порты ввода/вывода.

Atmel

Настоящая революция в мире микроконтроллеров произошла в 1996 году, когда корпорация Atmel представила свое семейство чипов на новом прогрессивном ядре AVR. Более продуманная архитектура AVR, быстродействие, превосходящее контроллеры

Microchip, привлекательная ценовая политика способствовали оттоку симпатий многих разработчиков от недавних претендентов на звание контроллера номер 1.

Микроконтроллеры AVR имеют более развитую систему команд, насчитывающую до 133 инструкций, производительность, приближающуюся к 1 MIPS/МГц, Flash ПЗУ программ с возможностью внутрисхемного перепрограммирования. Многие чипы имеют функцию самопрограммирования. AVR-архитектура оптимизирована под язык высокого уровня Си. Кроме того, все кристаллы семейства совместимы "снизу вверх".



Огромную роль сыграла доступность программного обеспечения и средств поддержки разработки. У Atmel много бесплатно распространяемых программных продуктов. Хорошо известно, что развитые средства поддержки разработок при освоении и знакомстве с любым микроконтроллерным семейством играют не менее значимую роль, чем сами кристаллы. Фирма Atmel уделяет этому вопросу большое внимание. Чрезвычайно удачная и совершенно бесплатная среда разработки AVR Studio, работающая под Windows.

Ведущие сторонние производители выпускают полный спектр компиляторов, программаторов, ассемблеров, отладчиков, разъемов и адаптеров.

Для начинающего разработчика немаловажным является и то, что для программирования AVR можно обойтись вовсе без аппаратного программатора. Самым популярным способом программирования этих микроконтроллеров являются пять проводков, подсоединенных к параллельному порту персонального компьютера.

2.3 Общая характеристика микроконтроллеров AVR

Особенностями семейства AVR является наличие обширного набора аналоговых компонентов и цифровых периферийных устройств совместно со встроенным ЭПЗУ, что значительно повышает гибкость применения. RISC-архитектура процессора характеризуются мощным набором инструкций, большинство которых выполняются за один машинный цикл. Большинство представителей семейства megaAVR содержат 8-канальный 10-разрядный АЦП[8].

Обобщенная функциональная схема AVR-микроконтроллера представлена на рис.2.6

Все AVR-микроконтроллеры имеют идентичное ядро с регистровым файлом из тридцати двух 8-битных регистров общего назначения и встроенное Flash-ПЗУ емкостью от 1 до 128 кбайт. Ширина шины команд составляет 16 бит, а 5-битное поле адреса регистра обеспечивает доступ к любому из 32 регистров общего назначения.

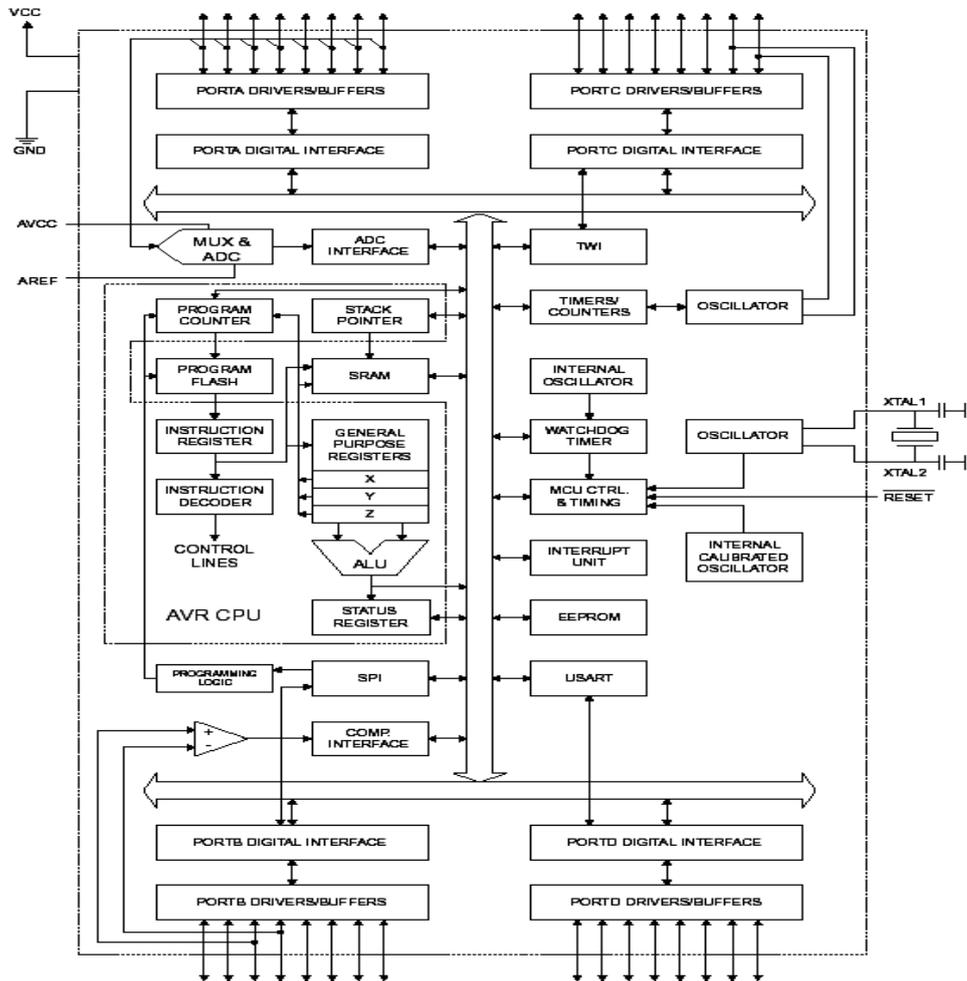


Рис.2.6 Обобщенная функциональная схема AVR-микроконтроллера.

2.4 Микроконтроллер ATmega16

Для конструирования блока управления инвертором использовался микроконтроллер типа ATmega16 из серии megaAVR. Это 8-разрядные микроконтроллеры с 16 Кбайтами внутрисистемно программируемой Flash памяти.

Отличительные особенности:

- 8-разрядный высокопроизводительный AVR микроконтроллер с малым потреблением с RISC архитектурой.
- 130 высокопроизводительных команд.
- 32 8-разрядных рабочих регистра общего назначения.
- Производительность приближается к 16 MIPS (при тактовой частоте 16 МГц)

- Встроенный 2-цикловый перемножитель
- 16 Кбайт программируемой Flash памяти.
- 512 байт EEPROM
- 1 Кбайт встроенной SRAM
- Два 8-разрядных таймера/счетчика с отдельным предварительным делителем, один с режимом сравнения
 - Один 16-разрядный таймер/счетчик с отдельным предварительным делителем и режимами захвата и сравнения
 - Счетчик реального времени с отдельным генератором
 - Четыре канала PWM
 - 8-канальный 10-разрядный аналого-цифровой преобразователь
 - Программируемый последовательный USART
 - Встроенный аналоговый компаратор
 - Внутренние и внешние источники прерываний
 - 32 программируемые линии ввода/вывода
 - Рабочая частота 0 – 16 МГц

2.5 Разработка схемы повышающего преобразователя

Схема повышающего преобразователя или бустера находит применение в приборах, где имеется только низковольтное питание, например, 12 гальванических элемента напряжением 1,5 В, но требуется иметь повышенное стабильное напряжение 5...15 В для питания узлов с малым токовым потреблением. Другая «профессия» бустерного преобразователя – построение активных корректоров коэффициента мощности [9].

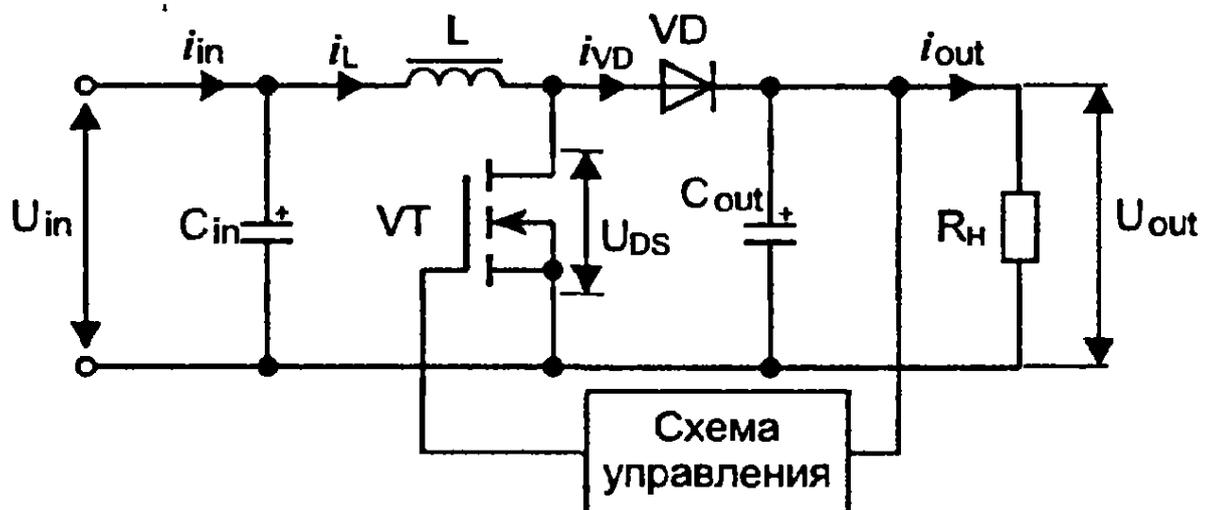


Рис. (2.7). Базовая схема бустерного стабилизатора.

На рис. (2.7) показана базовая схема бустерного преобразователя. Входное напряжение U_{in} через фильтрующий конденсатор C_{in} прикладывается к последовательно включенному дросселю L и ключевому транзистору VT . к средней точке соединения этих элементов подключен диод VD , к другому выводу которого подключается выходной конденсатор C_{out} и шунтирующая его нагрузка R_H . Ключевой транзистор VT работает в импульсном режиме с постоянной частотой преобразования. Диод VD блокирует нагрузку и конденсатор фильтра C_{out} от ключевого элемента в нужные моменты времени.

Если ключевой транзистор открыт, схема находится в фазе накопления энергии дросселя, ток от источника питания U_{in} протекает через дроссель L , запасая в нем энергию. Диод VD при этом блокирует нагрузку и не позволяет конденсатору фильтра разряжаться через замкнутый ключевой транзистор. Ток в нагрузке в этот промежуток времени поддерживается только за счет энергии, запасенной в конденсаторе C_{out} .

Когда ключевой транзистор закрывается, схема переходит в фазу передач энергии дросселя в нагрузку, ЭДС самоиндукции суммируется с выходным напряжением и энергия, запасенная в дросселе, подзаряжает конденсатор C_{out} при этом выходное напряжение U_{out} может стать больше входного U_{in} .

Следует отметить, что дроссель L не является элементом фильтра, а, выходное напряжение становится больше входного на величину, определяемую величиной индуктивности L и значением коэффициента заполнения, определяемого как отношение времени открытого состояния ключевого элемента к периоду коммутации (duty cycle).

Разберем чуть более подробно фазы работы бустерного преобразователя и сначала рассмотрим фазу накопления энергии дросселя, в которой задействованы элементы согласно рис. (2.8 а).

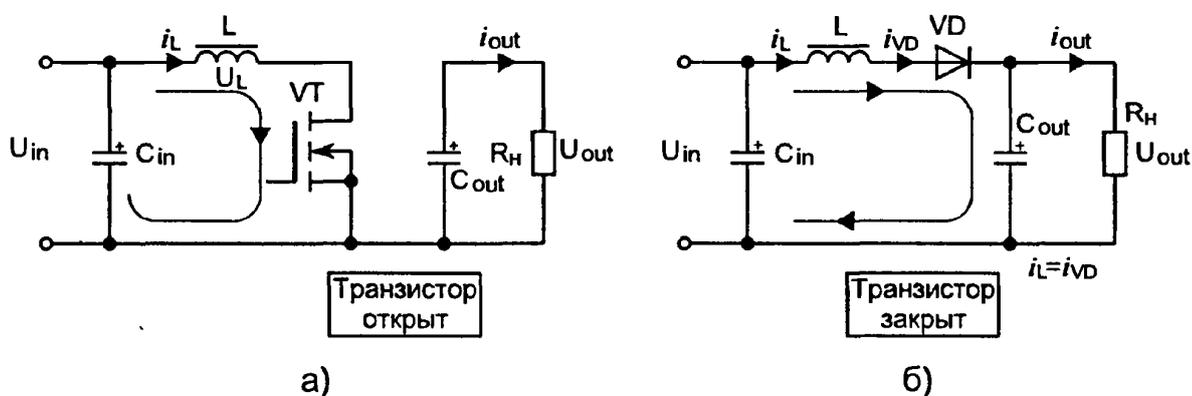


рис.(2.8) Фазы работы бустерного стабилизатора:

а) фаза накопления энергии дросселя; б) фаза передачи энергии дросселя

В этой фазе транзистор VT открыт и потенциал правого (по схеме) вывода дросселя L близок к потенциалу общего проводника схемы, левый вывод замкнут на «плюс» питающего напряжения. Конденсатор Cout, считаем имеющим некоторый заряд, поэтому диод VD «подперт» напряжением Uout, ток в нагрузке поддерживается только за счет энергии, накопленной в выходном конденсаторе. Но в данном случае нас больше интересуют процессы, происходящие в дросселе. А происходит в нем линейное нарастание тока i(L) от нулевого значения по закону:

$$i_L = \frac{U_{in} \cdot t}{L}, \quad (2.5)$$

где t продолжительность фазы накопления энергии.

Мы видим, что чем дольше длится фаза накопления, тем большую величину тока можно получить к моменту ее окончания. Если же налагается ограничение на длительность фазы накопления (что в реальных схемах чаще всего и бывает), то получить необходимую величину тока можно за счет выбора соответствующего значения индуктивности L. Чем меньшее значение индуктивности имеет дроссель, тем легче ему «набирать» ток. Этот простой, но очень важный вывод мы сделали исходя из того, что в полученном выражении индуктивность L стоит в знаменателе[9].

Переход к фазе передачи энергии в нагрузку происходит при размыкании ключевого транзистора VT. В этой фазе левый (по схеме) вывод дросселя L остается подключенным к «плюсу» источника питания, а вот правый через открывшийся диод VD приобретает потенциал «плюса» выходного напряжения схемы.

Как известно, основное свойство индуктивного элемента стремление к поддержанию величины и направления протекающего через него тока. Поэтому при размыкании ключа направление разрядного тока индуктивного элемента совпадет по направлению с зарядным током. Закон изменения тока дросселя в данной фазе записывается так:

$$i_L = \frac{U_{out} - U_{in}}{L} \cdot (T - t), \quad (2.6)$$

где T период коммутации.

Если переход между фазами происходит в некоторый момент tu (рис. 2.8), то, подставляя это значение в формулы (2.5) и (2.6), приравнивая их правые части, мы получим регулировочную характеристику бустерного преобразователя:

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{1}{1-D}, \quad (2.7)$$

где D - коэффициент заполнения (duty cycle).

Анализируя формулу (2.7), легко заметить, что теоретически можно увеличивать выходное напряжение преобразователя до бесконечности. К сожалению, максимальный повышающий коэффициент преобразования, даже при наличии очень хороших элементов схемы, существенно ограничен. Его значение не превышает в типовых практических схемах значение 3...6. Индуктивный элемент «бустера» также может работать в двух режимах с неразрывным током и с разрывным током i_L . На рис. (2.9) приведены диаграммы, отражающие работу step-up конвертора. Режим неразрывных токов приведен на рис. (2.9), а. Поскольку диод VD в фазе разряда дросселя не закрывается вплоть до момента ее окончания, напряжение «сток-исток» закрытого транзистора VT в этой фазе равно выходному напряжению U_{out} . Если режим тока дросселя разрывной (рис.2.8), ток i_L спадает к нулю до окончания разрядной фазы, диод VD закрывается и напряжение «сток-исток» транзистора становится равным U_{in} . Если быть более точным, то в момент полного разряда дросселя возникает колебательный процесс (он показан на рисунке), частоту которого можно определить по формуле:

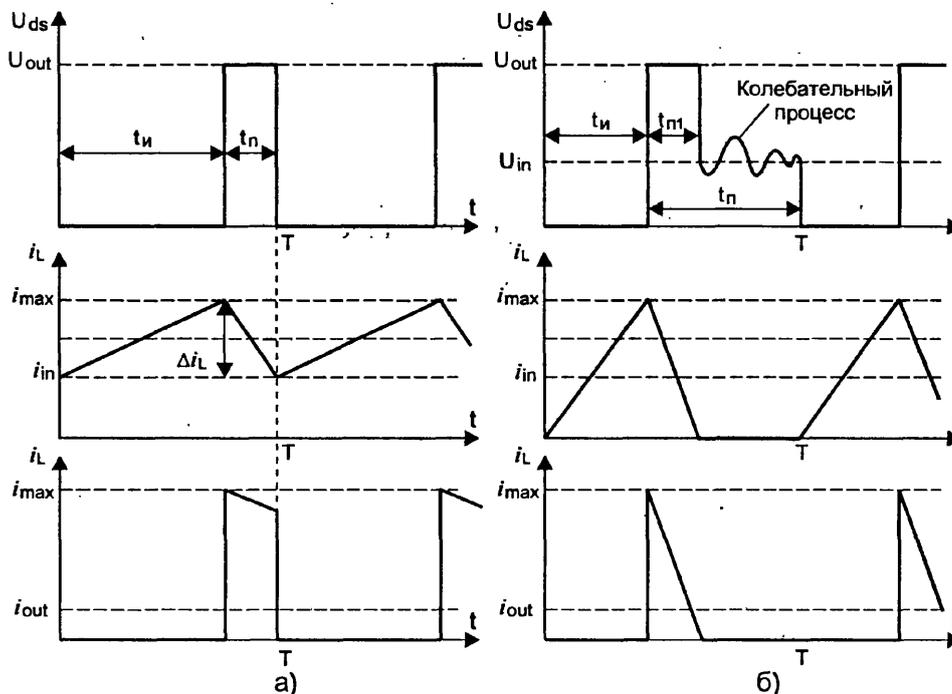


Рис. 2.9 Характеристики бустерного стабилизатора: а) в режиме неразрывных токов дросселя; б) в режиме разрывных токов дросселя

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot (C_{VT} + C_{VD})}}, \quad (2.8)$$

Где: C_{VT} емкость между стоком и истоком транзистора VT;

C_{VD} барьерная емкость закрытого p-n перехода диода VD.

В режиме непрерывных токов, когда $\Delta i_L < 2i_{in}$, время открытого состояния ключевого транзистора VT определяется по формуле, являющейся следствием (2.6):

$$t_u = \frac{1}{f} \left(\frac{U_{out} - U_{in}}{U_{out}} \right). \quad (2.9)$$

Амплитуда тока дросселя Δi_L рассчитывается по формуле:

$$\Delta i_L = \frac{1}{L} \cdot U_{in} \cdot t_u. \quad (2.10)$$

При расчете параметров «бустера» важно знать максимальную величину тока i_{max} дросселя L, и ее можно рассчитать по формуле:

$$i_{max} = i_{in} + \frac{1}{2} \Delta i_L, \quad (2.11)$$

где входной ток i_{in} равен:

$$i_{in} = i_{out} \cdot \frac{U_{out}}{U_{in}}. \quad (2.12)$$

Теперь приведем основные расчетные соотношения для режима разрывных токов, определяемого по условию $\Delta i_L > 2i_{in}$. Время открытого состояния транзистора VT в этом режиме определяется так:

$$t_u = \sqrt{2i_{out} \cdot L \cdot \left(\frac{U_{out} - U_{in}}{f \cdot U_{in}^2} \right)}. \quad (2.13)$$

Время спада до нулевого значения разрядного тока дросселя (рис.2.9, б):

$$t_{u1} = t_u \cdot \left(\frac{U_{out}}{U_{out} - U_{in}} \right). \quad (2.14)$$

Амплитуда тока дросселя:

$$i_{\max} = \frac{1}{L} \cdot U_{in} \cdot t_u. \quad (2.15)$$

Мы рассмотрели процессы, происходящие в идеализированном бустере. Как было сказано ранее, реальные схемы бустерных преобразователей не позволяют значительно увеличивать напряжение на выходе из-за наличия некоторых паразитных параметров, о которых стоит поговорить немного подробнее. В схеме рис. показаны основные паразитные параметры: активное сопротивление обмотки индуктивного элемента (r_L), сопротивление ключевого элемента в открытом состоянии (r_{VT}), дифференциальное сопротивление диода в прямом направлении (r_{VD}). Для простоты будем считать, что сопротивления транзистора и диода примерно равны, тогда общее сопротивление зарядной и разрядной цепей преобразователя можно считать примерно одинаковым:

$$r = r_L + r_{VT} = r_L + r_{VD}. \quad (2.16)$$

Регулировочная характеристика преобразователя, ранее записанная в виде (2.7), для схемы с паразитными параметрами будет выглядеть так:

$$U_{out} = U_{in} \cdot \frac{1}{1-D} \cdot \frac{1}{1 + \left(\frac{r}{R_n}\right) \cdot (1-D)^2}. \quad (2.17)$$

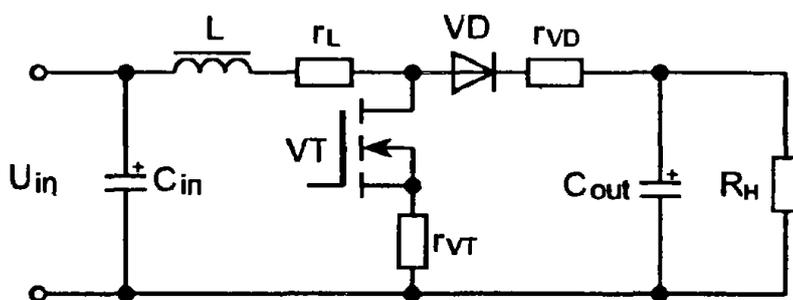


Рис.2.10. Паразитные параметры в реальном бустерном преобразователе.

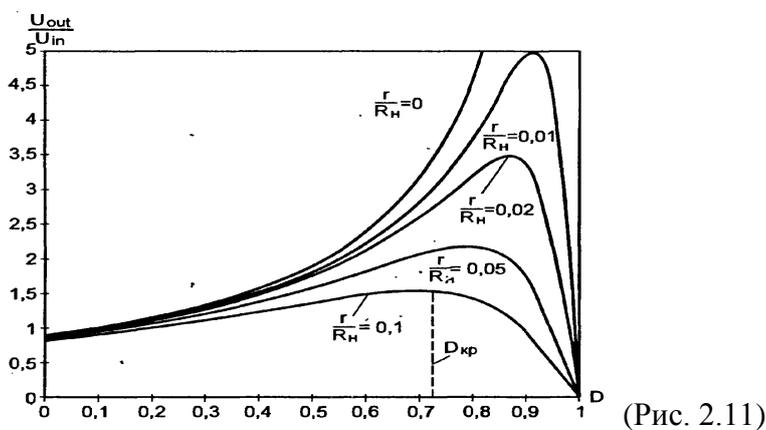
Выражение (2.17) справедливо для диапазона коэффициентов заполнения D в пределах от 0 до $D_{кр}$, называемого критическим коэффициентом заполнения. Критический коэффициент заполнения определяет границу применимости формулы (2.17); при ее превышении регулировочная характеристика стабилизатора приобретает падающий характер. Это происходит потому, что падение напряжения на паразитном сопротивлении r уже не может быть скомпенсировано нарастанием тока в индуктивности.

Определить критический коэффициент заполнения можно по формуле:

$$D_{кр} = 1 - \sqrt{\frac{r}{R_H}} \quad (2.18)$$

Графически семейство регулировочных характеристик показано на рис.2.11. Хорошо видно, что если необходимо получить достаточно протяженный начальный участок, и, следовательно, расширить диапазон регулирования выходного напряжения, необходимо уменьшать паразитные активные сопротивления зарядной и разрядной цепей[9].

В практических схемах «бустеров» максимальный коэффициент заполнения выбирается не более 0,8...0,9, чтобы не «выйти» на падающий участок регулировочной характеристики. Для этого в схему управления стабилизатором вводится специальный ограничитель.



Семейство регулировочных характеристик реальных бустерных преобразователей.

2.6 Алгоритмы работы схемы управления контроллера

Функциональные требования к алгоритмам

Разрабатываемая система должна обладать всеми функциями защиты и наблюдения, характерными для современных систем силовой электроники:

- Контроль уровня входного и выходного напряжения преобразователя напряжения.
- Контроль уровня входного и выходного тока преобразователя напряжения.
- Защита от токовой перегрузки.
- Защита от режима короткого замыкания.
- Температурная защита.

В соответствии с предварительным анализом, разрабатываемая программа микроконтроллера системы управления инвертором будет разделена на основную циклическую программу, выполняющую в основном сервисные функции и отдельные подпрограммы обработки прерываний, ориентированные на быстрый отклик на

различные внешние или внутренние события. Структура алгоритма основной программы микроконтроллера системы управления инвертором показана на рис. 2.12.

В данном случае основная программа производит инициализацию микроконтроллера, осуществляет опрос кнопок включения-выключения, обрабатывает алгоритм включения-выключения и выводит на индикацию заранее выбранные параметры ($U_{бат}$, $U_{вых}$, $I_{вых}$). Другие сервисные подпрограммы (например, опрос кнопок клавиатуры и другие) могут быть оформлены в виде подпрограмм и включены в бесконечный цикл основной программы в любом месте (здесь не показаны).

Пример подобной подпрограммы приведен ниже на рис. 2.13 (алгоритм защиты от разряда аккумуляторной батареи)

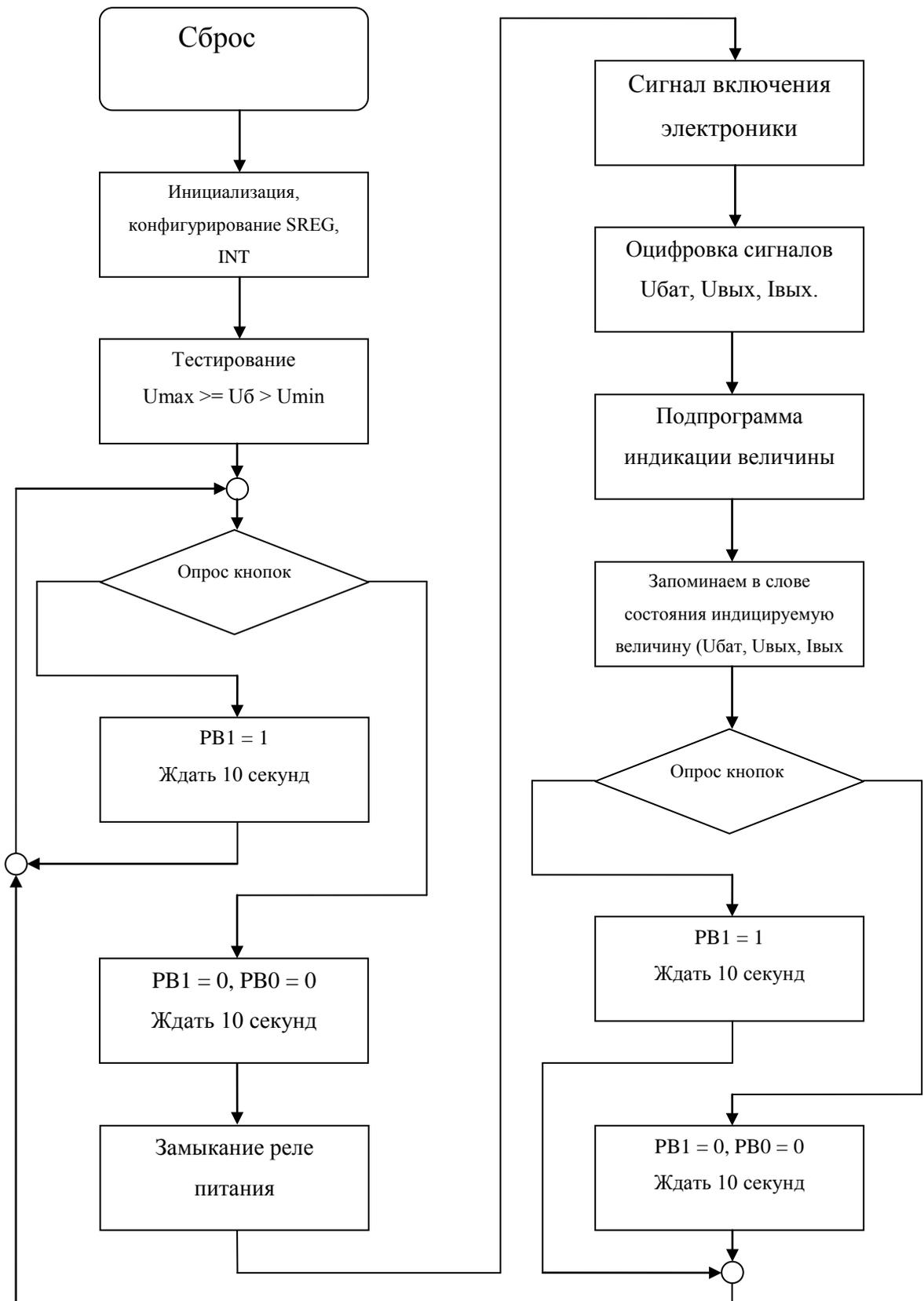


Рис. 2.12 Структура алгоритма основной программы микроконтроллера блока управления.

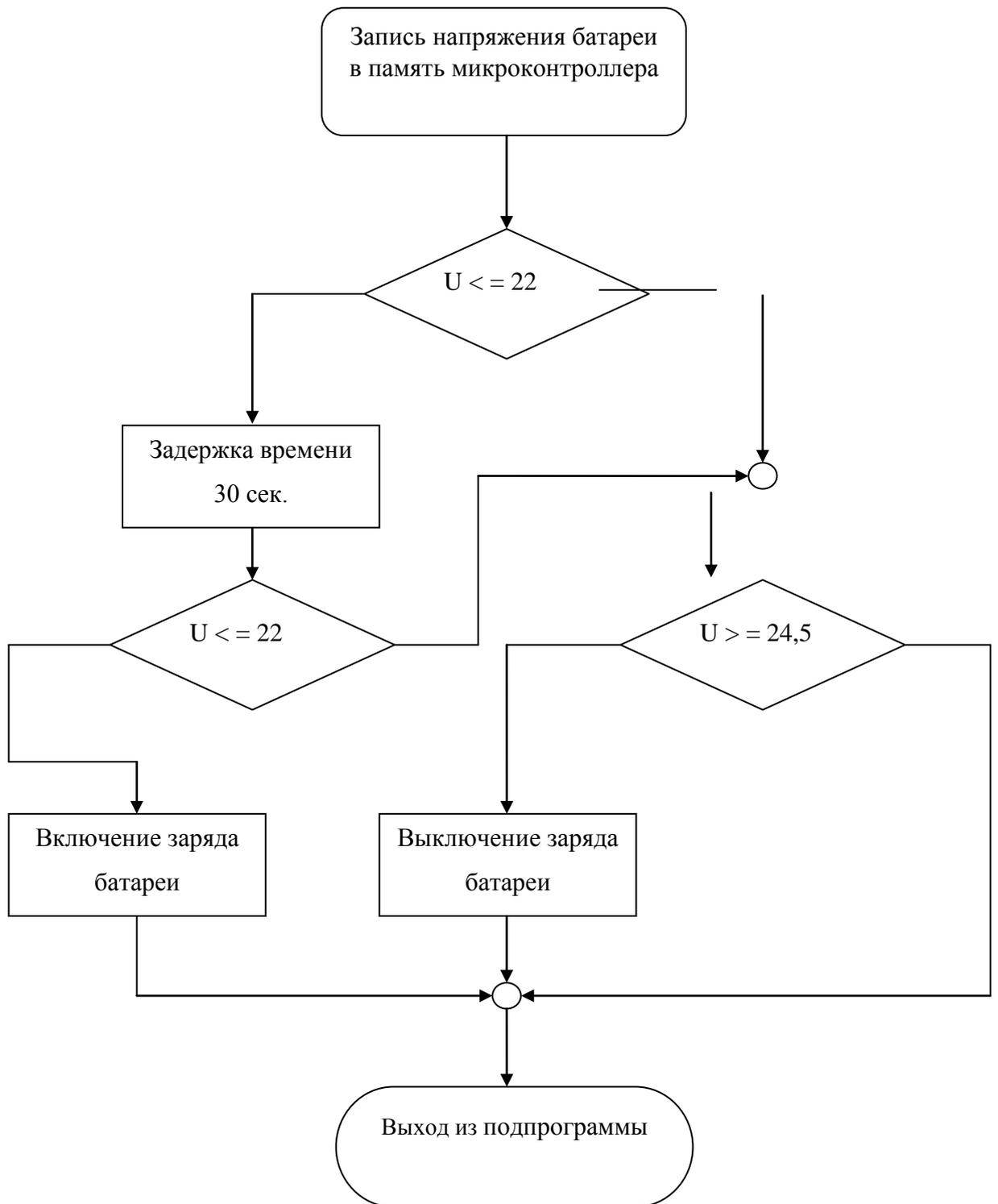


Рис. 2.13 Алгоритм защиты от разряда и перезаряда аккумуляторной батареи

2.7 Обработчики прерываний

Действия, требующие быстрого отклика, обрабатываются программами обработки прерываний. Прерывания генерируются от различных внешних событий и аппаратных устройств микроконтроллера – от таймеров-счетчиков, по окончании цикла АЦП, и от внешних устройств. Ниже приведен алгоритм работы некоторых программ обработки прерываний.

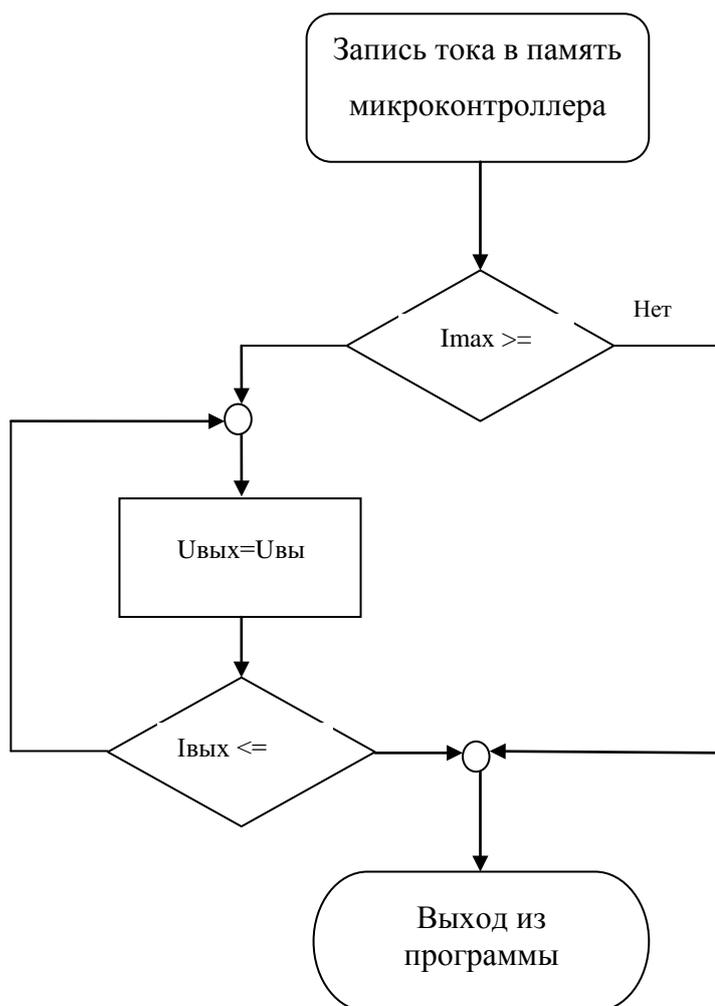


Рис. 2.15. Алгоритм защиты от перегрузки выходного каскада

2.8 Разработка схемы микроконтроллерного узла

Плата блока управления обеспечивает необходимый алгоритм работы силовой части контроллера, мониторинг и управление. Плата управления (ПУ) стыкуется с силовой платой и с платой дисплея. Все цепи ПУ изолированы от напряжения аккумуляторов, присутствующего на силовой. По функциональному назначению состав ПУ может быть разбит на следующие узлы:

- центральный микроконтроллер (МК);
- узел формирования ШИМ сигналов для управления силовыми транзисторами блока МРРТ;
- узлы согласования входных и выходных сигналов;
- узел согласования сигналов индикации и кнопок;

На рисунке 2.16 показана упрощенная схема микроконтроллерной части ПУ, разработанной для инвертора. В качестве центрального МК использован микроконтроллер типа ATmega16, на входы которого поступают аналоговые и цифровые сигналы.

Плата дисплея содержит ряд светодиодов для индикации режимов работы инвертора и кнопки включения/выключения инвертора. LCD-дисплей типа Hitachi HD44780 используется для отображения электрических параметров и состояния контроллера.

На выводы контроллера PA0 – PA7 (входы АЦП) через схемы сопряжения подаются напряжения, пропорциональные выходному напряжению инвертора, выходному току инвертора, напряжению на аккумуляторной батарее и температуре внутри корпуса. Вывод PB0 используется для формирования сигнала подачи питания на силовую часть инвертора с помощью сильноточного реле.

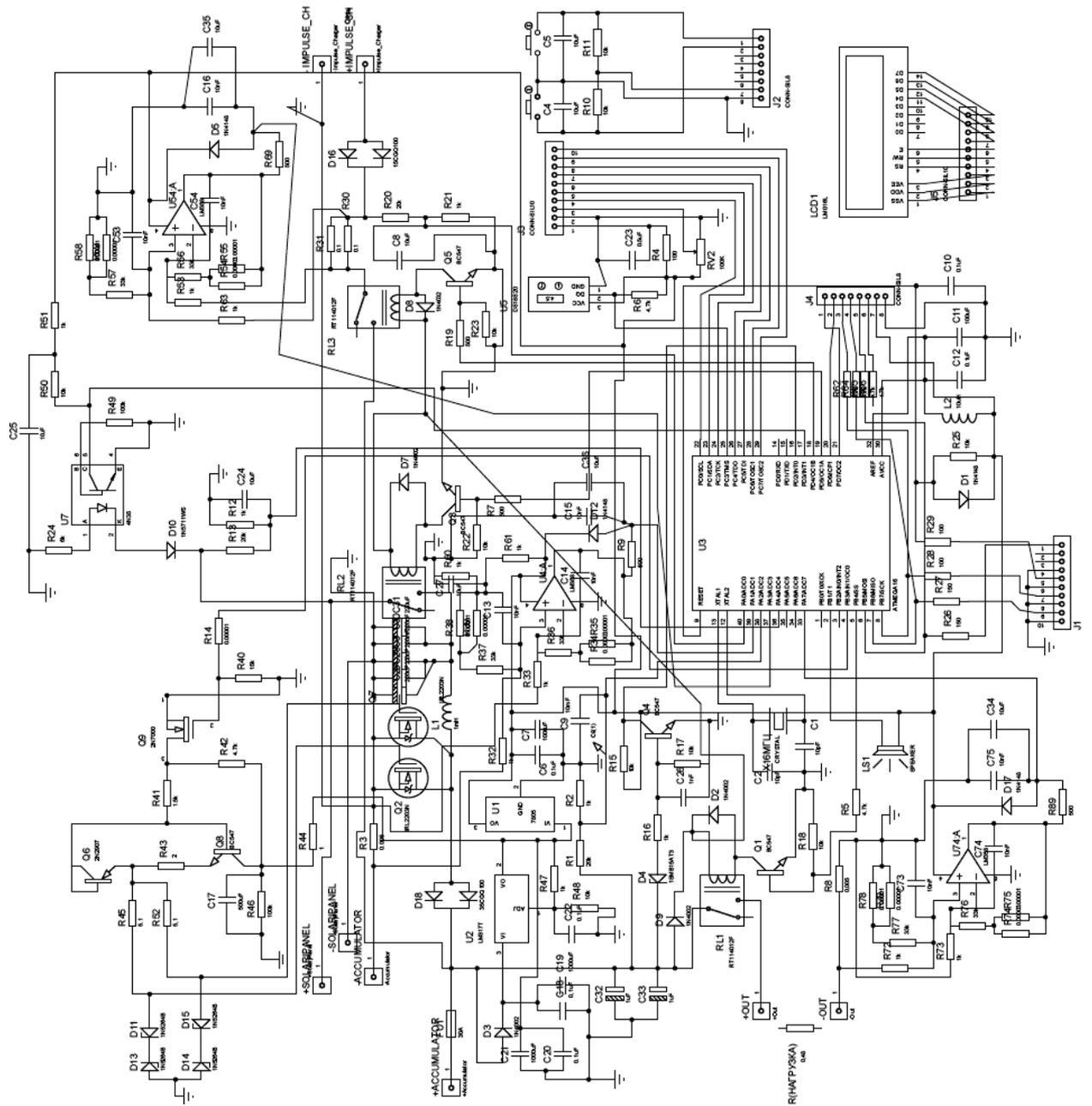


Рис. 2.16 Схема управляющей части контроллера.

3 Разработка печатных плат, монтаж и наладка электронных блоков

Проектирование схемы производилось с помощью программы PCAD Schematic, основной задачей которой является построение принципиальных электрических схем радиоэлектронных устройств.

В этой программе электрические схемы выполняются без соблюдения масштаба. Реальное расположение компонентов на монтажно-коммутационном поле не учитывается при рисовании электрических схем. Выбранный размер на который выводится рисунок схемы, должен обеспечить компактность и ясность при чтении деталей схемы.

На электрической схеме изображаются символы компонентов, электрические связи между ними, текстовая информация, таблицы, буквенно-цифровые обозначения и основные надписи на формате схемы.

Линии на всех схемах одного проекта выполняются толщиной от 0,2 до 1 мм. Соединения и условные обозначения компонентов выполняются линиями одинаковой толщины. Утолщенными линиями рисуются жгуты (общие шины).

После настройки конфигурации графического редактора PCAD Schematic и при наличии в библиотеке всех символов компонентов, содержащихся в заданной электрической схеме (текущем проекте), составляется принципиальная электронная схема. При этом графические изображения элементов схем и линии электрической связи размещаются по обычным правилам.

После создания схемы создается список соединений (NET LIST). В дальнейшем список соединений используется при упаковке элементов и цепей в редакторе PCAD PCB.

Разработка топологии печатных плат микроконтроллерной системы управления велась с использованием пакета PCAD – 2006. Создавались графические изображения нестандартных индуктивных элементов, электрических соединителей, и перемычек. Остальные элементы – из стандартных библиотек элементов PCAD – 2006. Файл схемы создавался в редакторе схем PCAD – 2006, с использованием стандартных и нестандартных элементов.

Разработка конструкции печатных плат

После настройки конфигурации редактора PCAD PCB и определения всех параметров проекта можно приступить непосредственно к разработке печатных плат. Используя сгенерированный редактором PCAD Schematic список соединений, создается файл, содержащий изображения контуров печатной платы, элементов печатной платы и электрических соединений.

Задача разработки печатных плат сводится к размещению компонентов проекта по отношению друг к другу на поле печатной платы и созданию правил ручной и автоматической трассировки соединений на плате.

Для разработки печатной платы использовался редактор PCB PCAD-2006. В нем производится размещение компонентов на монтажно-коммутационном поле, а также ручная, интерактивная или автоматическая трассировка проводников[10].

В интерактивном режиме курсором отмечается начало и конец сегмента проводника, который сразу же трассируется с учетом препятствий. При этом соблюдаются все ограничения на проведение трассы, установленные пользователем. Размещение элементов производилось вручную, так как автоматическое размещение не поддерживается системой

PCAD. Разводка цепей велась вручную или интерактивно с учетом необходимой ширины дорожек. Для цепей питания ширина выбиралась 2 мм, а для сигнальных – 1,0 мм.

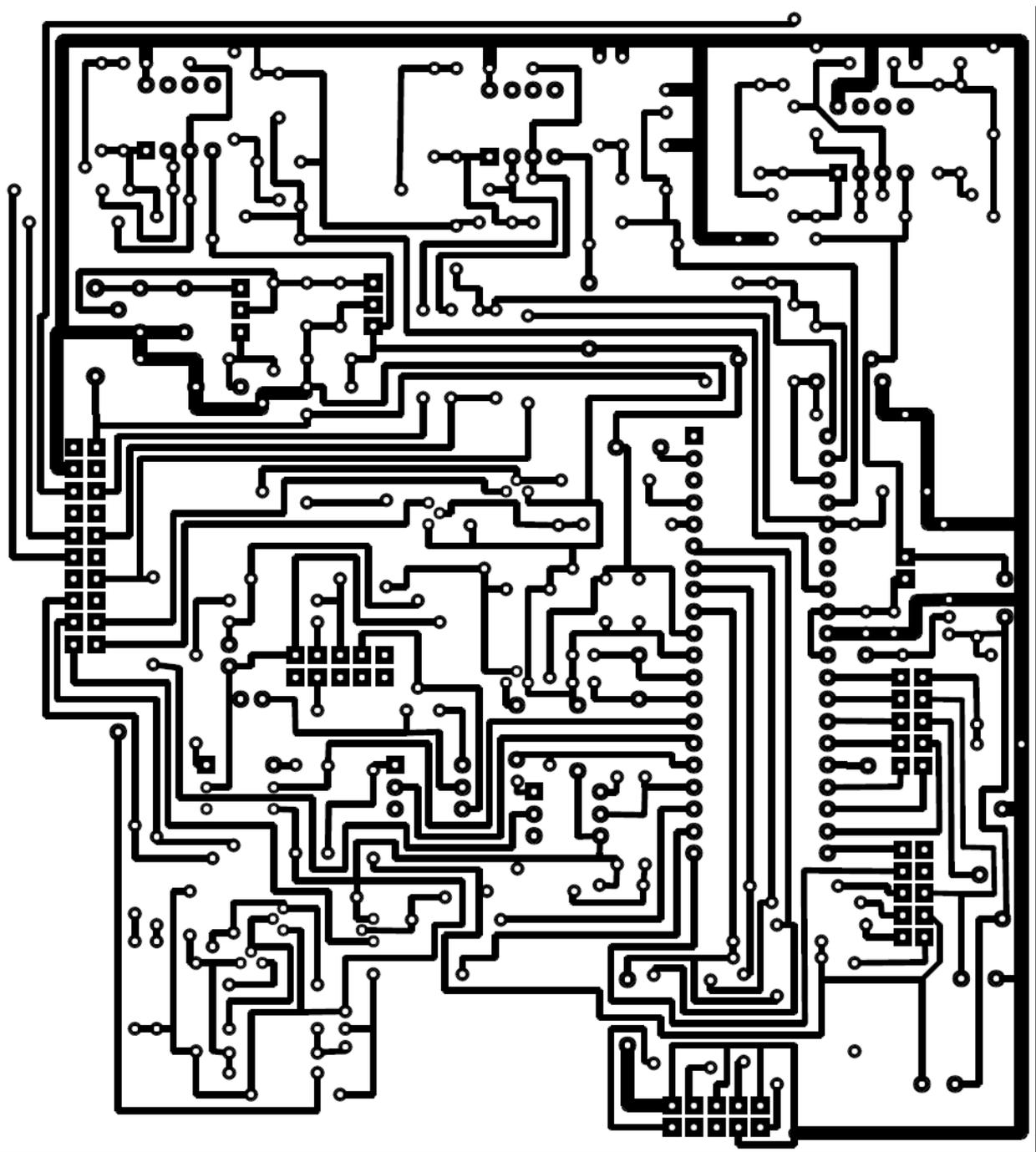


Рис. 3.1 Печатная плата контроллера.

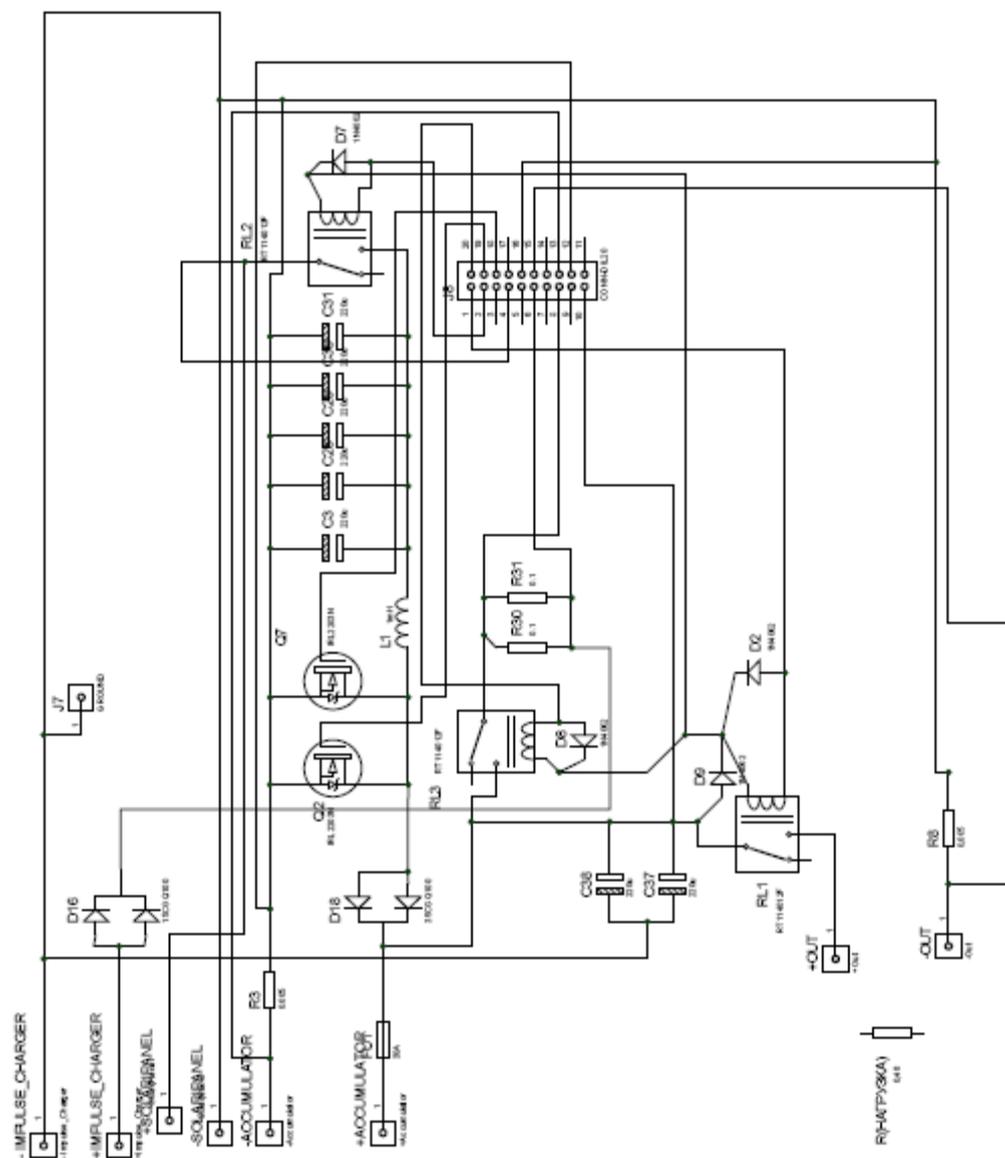


Рис. 3.3 Схема силовой части

Таблица 2.1. Спецификация элементов:

№	Наименование	Количество	Цена (сум)	Итого (сум)
1.	Микроконтроллер AtMega16	1 шт.	15000	15000
2.	Панель 40 контактов (AtMega16)	1 шт.	1000	1000
3.	ЖК индикатор LCD 1602	1 шт.	25000	25000
4.	Термодатчик DS18S20	1 шт.	7000	7000
5.	Стабилизатор напряжения LM7805	1 шт.	1000	1000
6.	Стабилизатор напряжения LM317T	1 шт.	1000	1000
7.	Транзистор MOSFET- IRL2203N	2 шт.	3000	6000
8.	Реле RT114012F или (JQX-15F(T90))	3 шт.	6000	18000
9.	Кварцевый генератор Crystal 16MHz	1 шт.	1000	1000
10.	Транзистор биполярный BC547B	5 шт.	200	1000
11.	Транзистор биполярный BC556	1 шт.	200	200
12.	Операционный усилитель LM358	3 шт.	500	1500
13.	Конденсатор электролитический С 220μF 50V	10 шт.	1000	10000
14.	Конденсатор электролитический С 10μF 16 V	2 шт.	250	500
15.	Конденсатор С 1000 μF/16V	2 шт.	400	800
16.	Конденсатор С 0,1 μF	6 шт.		
17.	Конденсатор С 10 mF	1 шт.	200	200
18.	Конденсатор С 10 nF	8 шт.		
19.	Конденсатор С 500 μF	1 шт.		
20.	Конденсатор С 10 pF	2 шт.		
21.	Конденсатор С 1 nF	1 шт.		
22.	Конденсатор С 10 μF/16V	7 шт.	200	1400
23.	Конденсатор С 100 μF/16V	1 шт.	200	200
24.	Конденсатор С 0,5 μF	1 шт.		
25.	Резистор R 500 /0.25W	5 шт.	100	500
26.	Резистор R 20k /0.25W	3 шт.	50	150
27.	Резистор R 10k /0.25W	10 шт.	50	500
28.	Резистор R 0.005/ 5W	6 шт.	800	4800
29.	Резистор R 100 /0.25W	3 шт.	50	150

30.	Резистор R 6k /0.25W	2 шт.	100	200
31.	Резистор R 0,01/ 5W	4 шт.	1000	4000
32.	Резистор R 1k /0.25W	14 шт.	50	700
33.	Резистор R 5,1 /0.25W	4 шт.	50	200
34.	Резистор R 2 /0.25W	2 шт.	50	100
35.	Резистор R 100k /0.25W	2 шт.	50	100
36.	Резистор R 1,5k/0.25W	4 шт.	50	200
37.	Резистор R 4,7k/ 0.25W	10 шт.	50	500
38.	Резистор R 15k /0.25W	1 шт.	100	100
39.	Резистор R 33k /0.25W	8 шт.	100	800
40.	Резистор R 150 /0.25W	2 шт.	100	200
41.	Резистор R 560/0.25W	2 шт.	50	100
42.	Резистор R 270/0.25W	2 шт.	50	100
43.	Кнопка PKN1	5 шт.	1000	5000
44.	Переменное сопротивление R 100k 0.25W	1 шт.	1000	1000
45.	Диод 15CGQ100 (35A 100V)	1 шт.		
46.	Диод 35CGQ100 (35A 100V)	1 шт.		
47.	Диод 1N4002 (1A 100V)	5 шт.	200	1000
48.	Диод 1N4148 (300mA 75V)	11 шт.	100	1100
49.	Стабилитроны 1N5264B (500mW 60V)	4 шт.		
50.	Стабилитроны 1SMB15AT3_1 (600W 15V)	1 шт.		
51.	Индуктивность L 10 мГн	1 шт.		
52.	Ферритовый каркас EE65	1 шт.	55000	55000
53.	Предохранитель 30A	1 шт.	1000	1000
54.	Оптрон 4N35	3 шт.	1000	2000
55.	Динамик (speaker) 5V	1 шт.	2000	2000
56.	Разъём CONN-SIL 10 0.1 in pitch	2 шт.		
57.	Разъём CONN-SIL 8 0.1 in pitch	2 шт.		
58.	Разъём 90325-3010 CONN HEADER 10POS 1.27 MM	2 шт.		
59.	Обмоточный провод S 0.8	70 м	200	14000

60.	Панелька на 6 ножек			
61.	Стеклотекстолит СТЭФ-2мм	0,07 м ²		
62.	Сплав РОЗЕ	60 гр.		
63.	Хлорное железо	100 гр.		
64.	Лимонная кислота	15 гр.		
65.	Припой SOLDER WIRE SUOER	100 гр.	11000	11000
66.	Припой ПОС-61	150 гр.		
67.	Клемма ТС60А-2Р	1(10 разъемов) шт.	1000	1000
68.	Олово	2 шт.	5000	5000

3.1 Изготовление схемы

Блок управления и защиты лабораторного образца инвертора был изготовлен с использованием печатного монтажа. Вся схема блока управления была разделена на четыре части по функционально–узловому принципу. В результате были разработаны следующие элементы блока управления:

- Основная плата включающая в себя микроконтроллерный узел, узел формирования импульсов управления силовыми транзисторами, узел питания формирующий необходимые схеме напряжения питания (рис. 3.4).
- Плата индикации режимов работы и элементы управления (рис. 3.5).
- Плата быстродействующей защиты.
- Плата с силовыми элементами (рис.3.6)

Платы соединялись друг с другом и силовой частью инвертора отдельными парами проводов, выполненными в виде витых пар с шагом скрутки около 1 см. Некоторые ответственные сигналы передавались по экранированным проводам. Для подключения платы индикации и управления к основной плате использовался проводной шлейф. Других специальных мер по защите от помех и заземлению узлов не предпринималось.

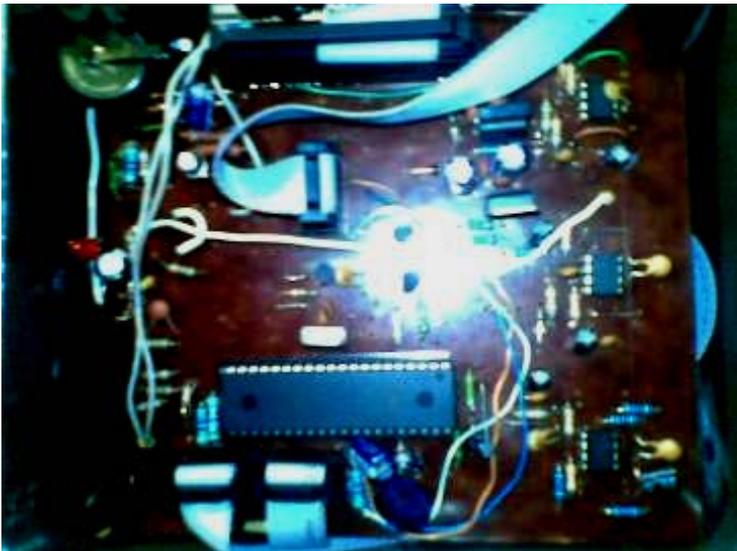


Рис. 3.4. Микроконтроллерный узел

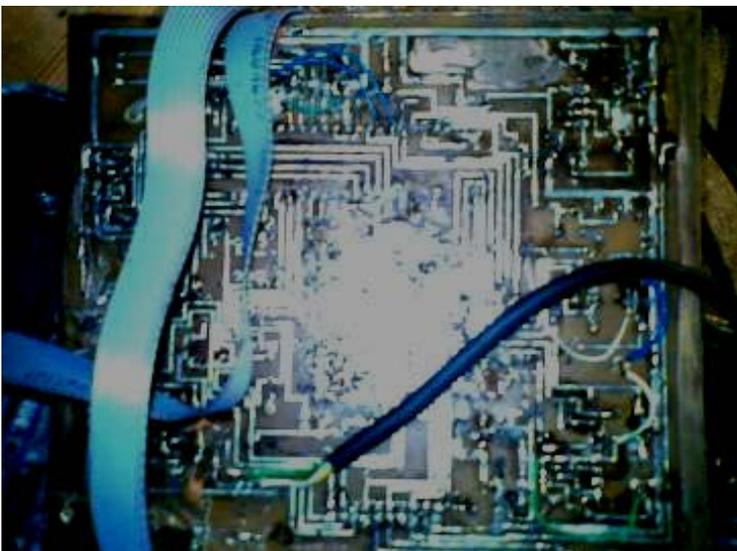


Рис.3.5. Плата индикации режимов работы и элементы управления



Рис. 3.6. Плата с силовыми элементами.

3.2 Изготовление печатных плат

Используя разработанную топологию печатных плат, была изготовлена печатная плата стенда. Плата изготавливалась методом химического травления.

Процесс изготовления печатных плат

Весь процесс изготовления печатной платы можно условно разделить на пять основных этапов:

- предварительная подготовка заготовки (очистка поверхности, обезжиривание);
- нанесение тем или иным способом защитного покрытия;
- удаление лишней меди с поверхности платы (травление);
- очистка заготовки от защитного покрытия;
- сверловка отверстий, покрытие платы флюсом, лужение.

Рассмотрим только «классическую» технологию, при которой лишние участки меди с поверхности платы удаляются путем химического травления.

Особенно хотелось бы отметить, что при изготовлении печатных плат следует стремиться при разработке схемы использовать как можно больше компонентов для поверхностного монтажа, что в некоторых случаях позволяет развести практически всю схему на одной стороне платы. В идеальном случае плата должна разводиться только на одной стороне с использованием минимального количества перемычек.

Предварительная подготовка заготовки

Данный этап является начальным и заключается в подготовке поверхности будущей печатной платы к нанесению на нее защитного покрытия. В целом за продолжительный промежуток времени технология очистки поверхности не претерпела сколько-нибудь значительных изменений. Весь процесс сводится к удалению окислов и загрязнений с поверхности платы с использованием различных абразивных средств и последующему обезжириванию. Для удаления сильных загрязнений можно использовать мелкозернистую наждачную бумагу («нулевку»), мелкодисперсный абразивный порошок или любое другое средство, не оставляющее на поверхности платы глубоких царапин. Кроме того, при достаточно чистой поверхности печатной платы можно вообще пропустить этап абразивной обработки и сразу перейти к обезжириванию.

Заключительный этап подготовки поверхности заключается в обезжиривании. Для этого можно использовать кусочек мягкой ткани, не оставляющей волокон, смоченный спиртом, бензином или ацетоном. После обезжиривания плату следует промыть в проточной холодной воде. Качество очистки можно контролировать, наблюдая за

степенью смачивания водой поверхности меди. Полностью смоченная водой поверхность, без образования на ней капель и разрывов пленки воды, является показателем нормального уровня очистки. Нарушения в этой пленке воды указывают, что поверхность очищена недостаточно.

Нанесение защитного покрытия

Нанесение защитного покрытия является самым важным этапом в процессе изготовления печатных плат, и именно им на 90 % определяется качество изготовленной платы. В настоящее время в радиолюбительской среде наиболее популярными являются три способа нанесения защитного покрытия [10].

1. Ручное нанесение защитного покрытия. При этом способе чертеж печатной платы переносится на стеклотекстолит вручную при помощи какого-либо пишущего приспособления. Для ручного рисования можно использовать рейсфедер или какое-либо другое приспособление, заправленное красителем. В качестве красителя при работе с такими приспособлениями можно использовать разбавленный растворителем битумный или какой-либо другой лак, цапонлак или даже раствор канифоли в спирте. При этом необходимо подобрать консистенцию красителя таким образом, чтобы он свободно поступал при рисовании, но в то же время не вытекал и не образовывал капель на конце иглы или трубки. Минимальная ширина дорожки, которой можно добиться при рисовании вручную, составляет порядка 0,5 мм.

2. Использование «технологии лазерного принтера и утюга». Основу технологии составляет перенос тонера (порошка, используемого при печати в лазерных принтерах) с какой-либо подложки на печатную плату. При этом возможны два варианта: либо используемая подложка отделяется от платы перед травлением, либо, если в качестве подложки используется алюминиевая фольга, она стравливается вместе с медью. Первый этап использования данной технологии заключается в печати зеркального изображения рисунка печатной платы на подложке. Параметры печати принтера при этом должны быть установлены на максимальное качество печати (поскольку в этом случае происходит нанесение слоя тонера наибольшей толщины). В качестве подложки можно использовать тонкую мелованную бумагу (обложки от различных журналов), бумагу для факсов, алюминиевую фольгу, пленку для лазерных принтеров, основу от самоклеящейся пленки Oracal или какие-нибудь другие материалы. При использовании слишком тонкой бумаги или фольги может потребоваться приклеить их по периметру на лист плотной бумаги. В идеальном случае принтер должен иметь тракт для прохождения бумаги без перегибов, что предотвращает смятие подобного бутерброда внутри принтера. Большое значение это имеет и при печати на фольге или основе от пленки Oracal, поскольку тонер на них

держится очень слабо, и в случае перегиба бумаги внутри принтера существует большая вероятность, что придется потратить несколько неприятных минут на очистку печки принтера от налипших остатков тонера.. Также помимо принтера можно использовать и копировальный аппарат, применение которого иногда дает даже лучшие по сравнению с принтерами результаты за счет нанесения толстого слоя тонера. Основное требование, которое предъявляется к подложке, — легкость ее отделения от тонера. Кроме того, в случае использования бумаги она не должна оставлять в тонере ворсинок. При этом возможны два варианта: либо подложка после перенесения тонера на плату просто снимается (в случае пленки для лазерных принтеров или основы от Oracal), либо предварительно размачивается в воде и потом постепенно отделяется (мелованная бумага). Перенос тонера на плату заключается в прикладывании подложки с тонером к предварительно очищенной плате с последующим нагревом до температуры, немного превышающей температуру плавления тонера. Возможно огромное количество вариантов как это сделать, однако наиболее простым является прижим подложки к плате горячим утюгом. При этом для равномерного распределения давления утюга на подложку рекомендуется проложить между ними несколько слоев плотной бумаги. Очень важным вопросом является температура утюга и время выдержки. Эти параметры варьируются в каждом конкретном случае, поэтому, возможно, придется поставить не один эксперимент, прежде чем вы получите качественные результаты. Критерий тут один: тонер должен успеть достаточно расплавиться, чтобы прилипнуть к поверхности платы, и в то же время должен не успеть дойти до полужидкого состояния, чтобы края дорожек не расплющились. После «приварки» тонера к плате необходимо отделить подложку (кроме случая использования в качестве подложки алюминиевой фольги: ее отделять не следует, поскольку она растворяется практически во всех травильных растворах). Пленка для лазерных принтеров и основа от Oracal просто аккуратно снимаются, в то время как обычная бумага требует предварительного размачивания в горячей воде. Стоит отметить, что в силу особенностей печати лазерных принтеров слой тонера в середине больших сплошных полигонов достаточно мал, поэтому следует по мере возможности избегать использования таких областей на плате, либо после снятия подложки придется подретушировать плату вручную. В целом использование данной технологии после некоторой тренировки позволяет добиться ширины дорожек и зазоров между ними вплоть до 0,3 мм.

3. Применение фоторезистов. Фоторезистом называется чувствительное к свету вещество, которое под воздействием освещения изменяет свои свойства. Сущность применения фоторезиста заключается в следующем: на плату с нанесенным на нее слоем

фоторезиста накладывается фотошаблон и производится ее засветка, после чего засвеченные (или незасвеченные) участки фоторезиста смываются специальным растворителем, в качестве которого обычно выступает едкий натр (NaOH). Все фоторезисты делятся на две категории: позитивные и негативные. Для позитивных фоторезистов дорожке на плате соответствует черный участок на фотошаблоне, а для негативных, соответственно, прозрачный. Наибольшее распространение получили позитивные фоторезисты как наиболее удобные в применении.

Первым этапом является подготовка фотошаблона. В домашних условиях его можно получить, напечатав рисунок платы на лазерном принтере на пленке. При этом необходимо особое внимание уделить плотности черного цвета на фотошаблоне, для чего необходимо отключить в настройках принтера все режимы экономии тонера и улучшения качества печати.

На втором этапе на предварительно подготовленную и очищенную поверхность платы наносится тонкая пленка фоторезиста. При этом следует стремиться к максимальной равномерности получаемого покрытия. Кроме того, очень важно обеспечить отсутствие пыли в процессе распыления — каждая попавшая в фоторезист пылинка неминуемо оставит свой след на плате.

После нанесения слоя фоторезиста необходимо высушить получившуюся пленку. Делать это рекомендуется при температуре 70–80 °С, причем сначала нужно подсушить поверхность при небольшой температуре и лишь затем постепенно довести температуру до нужного значения. Время сушки при указанной температуре составляет порядка 20–30 мин. В крайнем случае, допускается сушка платы при комнатной температуре в течение 24 часов. Платы с нанесенным фоторезистом должны храниться в темном прохладном месте.

Следующим после нанесения фоторезиста этапом является экспонирование. При этом на плату накладывается фотошаблон (желательно стороной печати к плате: это способствует увеличению четкости при экспонировании), который прижимается тонким стеклом или куском плексигласа. При достаточно небольших размерах плат для прижима можно использовать крышку от коробки компакт-диска либо отмытую от эмульсии фотопластинку. Поскольку область максимума спектральной чувствительности большинства современных фоторезистов приходится на ультрафиолетовый диапазон, для засветки желательно использовать лампу с большой долей УФ-излучения в спектре (ДРШ, ДРТ и др.). В крайнем случае, можно использовать мощную ксеноновую лампу. Время экспонирования подбирается экспериментально. Однако в целом время экспонирования

составляет обычно не более 10 минут даже при экспонировании под прямыми солнечными лучами.

Проявление большинства фоторезистов осуществляется раствором едкого натра (NaOH) — 7 граммов на литр воды. Лучше всего использовать свежеприготовленный раствор, имеющий температуру 20°C–25°C. Время проявления зависит от толщины пленки фоторезиста и находится в пределах от 30 секунд до 2 минут. После проявления плату можно подвергать травлению в обычных растворах, поскольку фоторезист устойчив к воздействию кислот. При использовании качественных фотошаблонов применение фоторезиста позволяет получить дорожки шириной вплоть до 0,15–0,2мм.

Травление

Известно много составов для химического травления меди. Все они отличаются скоростью протекания реакции, составом выделяющихся в результате реакции веществ, а также доступностью необходимых для приготовления раствора химических реактивов.

1. Хлорное железо (FeCl_3) — пожалуй, самый известный и популярный реактив. Сухое хлорное железо растворяется в воде до тех пор, пока не будет получен насыщенный раствор золотисто-желтого цвета (для этого потребуется порядка двух столовых ложек на стакан воды). Процесс травления в этом растворе может занять от 10 до 60 минут. Время зависит от концентрации раствора, температуры и перемешивания. Перемешивание значительно ускоряет протекание реакции. Также реакция ускоряется при подогревании раствора. По окончании травления плату необходимо промыть большим количеством воды, желательно с мылом (для нейтрализации остатков кислоты).

2. Раствор соляной кислоты (HCl) и перекиси водорода (H_2O_2). Для приготовления этого раствора необходимо к 770 мл воды добавить 200 мл 35 % соляной кислоты и 30 мл 30 % перекиси водорода. Готовый раствор должен храниться в темной бутылке, не закрытой герметически, так как при разложении перекиси водорода выделяется газ. Время травления сильно зависит от перемешивания и температуры раствора и составляет порядка 5–10 минут для хорошо перемешиваемого свежего раствора при комнатной температуре. Не следует нагревать раствор выше 50 оС. После травления плату необходимо промыть проточной водой. Данный раствор после травления можно восстанавливать добавлением H_2O_2 . Оценка требуемого количества перекиси водорода осуществляется визуально: погруженная в раствор медная плата должна перекрашиваться из красного в темно-коричневый цвет. Образование пузырей в растворе свидетельствует об избытке перекиси водорода, что ведет к замедлению реакции травления.

Очистка заготовки, сверловка, нанесение флюса, лужение

После завершения травления и промывки платы необходимо очистить ее поверхность от защитного покрытия. Сделать это можно каким-либо органическим растворителем, например, ацетоном [10].

Далее необходимо просверлить все отверстия. Делать это нужно остро заточенным сверлом при максимальных оборотах электродвигателя. В случае, если при нанесении защитного покрытия в центрах контактных площадок не было оставлено пустого места, необходимо предварительно наметить отверстия (сделать это можно, например, шилом). Прижимное усилие в процессе сверления не должно быть слишком большим, чтобы на обратной стороне платы не образовывались бугорки вокруг отверстий. Обычные электродрели практически не подходят для сверления плат, поскольку, во-первых, имеют низкие обороты, а во-вторых, обладают достаточно большой массой, что затрудняет регулирование прижимного усилия. После сверловки нужно обработать отверстия: удалить все зазубрины и заусенцы. Сделать это можно наждачной бумагой.

Следующим этапом является покрытие платы флюсом с последующим лужением. Можно использовать специальные флюсы промышленного изготовления (лучше всего смываемые водой или вообще не требующие смывания) либо просто покрыть плату слабым раствором канифоли в спирте. Лужение можно производить двумя способами: погружением в расплав припоя либо при помощи паяльника и металлической оплетки, пропитанной припоем. В первом случае необходимо изготовить железную ванночку и заполнить ее небольшим количеством сплава Розе или Вуда. Расплав должен быть полностью покрыт сверху слоем глицерина во избежание окисления припоя. Для нагревания ванночки можно использовать перевернутый утюг или электроплитку. Плата погружается в расплав, а затем вынимается с одновременным удалением излишков припоя ракелем из твердой резины.

Типичные размеры отверстий:

- Переходные отверстия - 0.8 мм и менее
- Интегральная схема, резисторы и т.д. - 0.8 мм.
- Большие диоды (1N4001) - 1.0 мм;
- Контактные колодки, триммеры - от 1.2 до 1.5 мм;

Необходимо избегать отверстий диаметром менее 0.8 мм. Всегда держите не менее двух запасных сверл 0.8 мм. Сверла 1 мм и больше намного надежнее, хотя и для них неплохо бы иметь запасные.

3.3 Монтаж и наладка электронных блоков

Перед монтажом печатные проводники и контактные площадки необходимо подготовить к пайке - очистить от оксидной пленки и загрязнений. Если монтаж ведется сразу после изготовления печатной платы, то проводники достаточно протереть бязевым тампоном, смоченным в спирте. Если же с момента изготовления платы прошло много времени и металлическое покрытие потемнело (окикисло), то вначале необходимо зачистить его до блеска мелкозернистой шкуркой, а затем тщательно промыть спиртом. После обезжиривания на все контактные площадки печатной платы кисточкой наносят тонкий слой канифольного флюса.

Радиоэлементы и микросхемы тоже необходимо подготовить к монтажу и пайке. Для этого их выводы формуют (придают им нужную форму), обрезают до необходимой длины, зачищают и лудят.

Формовку выводов делают для того, чтобы, во-первых, привести в соответствие расстояния между ними и контактными площадками, во-вторых, чтобы предотвратить отслаивание печатных проводников и площадок при неосторожном нажатии на корпус элемента. Формовку можно выполнить с помощью пинцета, миниатюрных плоскогубцев, круглогубцев или несложного приспособления.

Поскольку прочность сцепления фольги с платой невелика и при нагревании уменьшается, то при пайке соединений на печатной плате необходимо соблюдать осторожность - не допускать перегрева, так как это может привести к отслаиванию проводников и площадок от платы.

Для пайки следует применять припой с низкой температурой плавления: ПОСК 50, ПОС 61 и другие. Мощность электрического паяльника при пайке этими припоями не должна превышать 35-40 Вт. . .

Полностью отработанную и настроенную схему, если она предназначена для работы в условиях повышенной влажности, целесообразно выполнить в виде модуля.

Изолирование корпусов радиоэлементов при монтаже можно выполнить отрезком полихлорвиниловой трубки. Для лучшей фиксации трубку по диаметру следует выбрать несколько меньшей корпуса элемента, Отрезок трубки длиной, в 1,2-1,5 раза большей длины корпуса, выдерживают в ацетоне около часа (или 30-40 мин в дихлорэтаноле). По истечении этого времени материал трубки разбухает, приобретая исключительно высокую эластичность, трубка удлиняется и увеличивается в диаметре. С помощью пинцета трубку осторожно надевают на корпус элемента и выдерживают на открытом воздухе не менее 2 ч. За это время трубка дает усадку, плотно облекая корпус. Излишки трубки обрезают.

Зачистка выводов. При хранении выводы радиоэлементов через некоторое время обычно покрываются оксидной пленкой, затрудняющей монтажную пайку. Удобно (и быстро) зачищать выводы с помощью ученической чернильной резинки. В резинке сверлят тонким сверлом несколько отверстий, через которые 3-4 раза с усилием протягивают проволочные выводы элементов, сжимая резинку пальцами. Плоские выводы протягивают между двумя плотно сжатыми резинками или через прорезь, сделанную в резинке, или пользуются резинкой, как обычно при стирании, поместив вывод элемента на плоскую поверхность.

Окантовка отверстий, через которые пропускаются монтажные провода или жгуты, может быть выполнена с помощью отрезка полихлорвиниловой трубки. Для окантовки отверстий в панелях толщиной 1- 2 мм можно использовать трубку диаметром 3-5 мм. Длину отрезка определяют по формуле $l=n(d-0,6)$, где d -диаметр отверстия; $0,6$ - удвоенная толщина стенки трубки. Трубку с обоих концов обрезают под углом 45° . Безопасной бритвой или острым ножом трубку осторожно разрезают по самой длинной образующей, раздвигают края и окантовывают отверстие. При окантовке отверстий в панелях толщиной 3-7 мм используют трубки диаметром 7-15 мм.

Проверка всех радиоэлементов перед монтажом гарантирует работоспособность и успешную настройку прибора. Большинство радиоэлементов можно проверить обычным тестером, а конденсаторы, в том числе и малой емкости (десятки и даже единицы пикофард), при отсутствии измерителя емкости-с помощью головных телефонов. Конденсатор, заряженный от источника напряжения, разряжают на сопротивление телефонов и судят о годности по щелчку телефоне. Чем больше емкость конденсатора (при неизменном напряжении), тем громче будет звук разряда. При такой проверке нужно подавать напряжение не выше номинального для данного типа конденсаторов.

После сборки проводилась наладка аналоговых узлов и проверка верности функционирования всех функциональных узлов схемы.

3.4 Разработка и отладка программы

В качестве среды разработки будем использовать AVR Studio 4. Программа бесплатно предоставляется самой Atmel. В установке программы нет ничего необычного. Программа AVR Studio предназначена для создания, редактирования, компиляции и отладки программного обеспечения для микроконтроллеров AVR.

Запускаем AVR Studio 4. В меню выбираем Project->Project Wizard. Откроется диалог создания нового или открытия существующего проекта. Нажимаем на кнопку New Project. Теперь нам предлагают выбрать тип проекта. Здесь же выбираем имя проекта, имя

файла, содержащего код (надо поставить галочку "Create initial file", если не стоит) и путь, где проект будет сохранен. Если установить флаг "Create folder", в выбранном каталоге будет создан подкаталог с именем, совпадающим с именем проекта. Пример введенных данных представлен на рисунке 3.1.

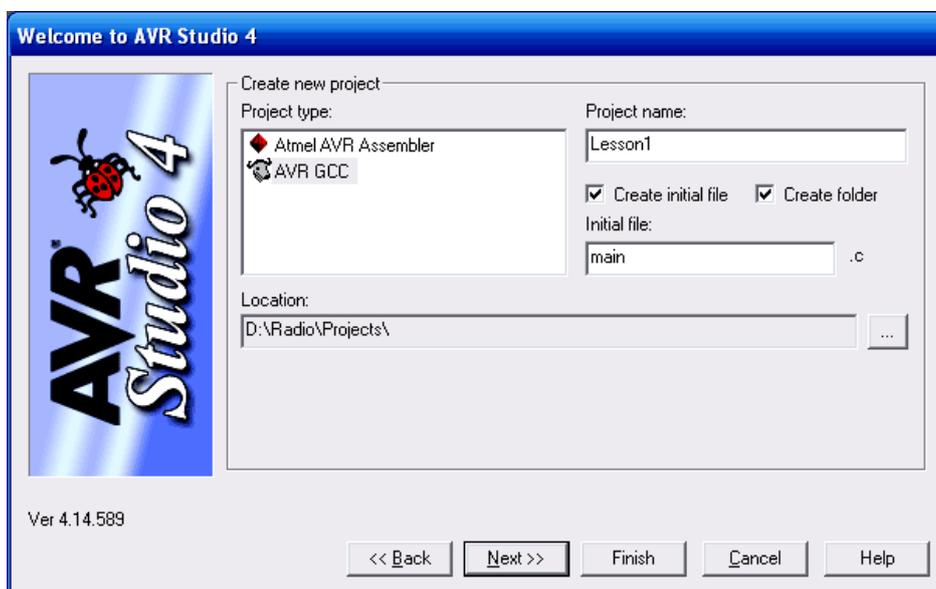


Рис. 3.1 Создание нового проекта. Шаг первый. Выбор названия и путей.

Вторым этапом мастер предлагает выбрать отладчик. Если у Вас нет аппаратного отладчика, выбирайте AVR Simulator. Это эмулятор микроконтроллера, позволяющий отладить Вашу прошивку, отложив сборку устройства. Кроме того, необходимо выбрать тип микроконтроллера, под который пишется прошивка. Пример введенных данных на этом этапе создания проекта представлен на рисунке 3.2.

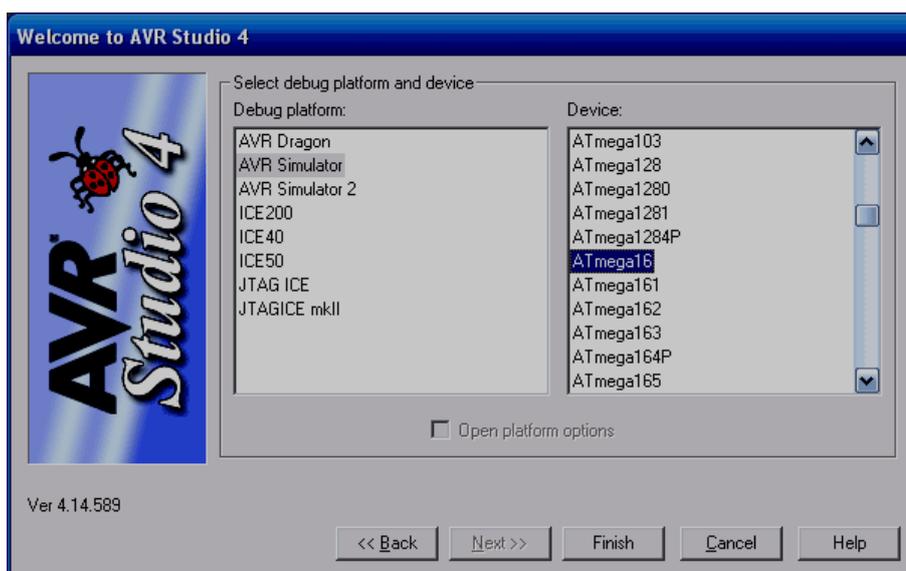


Рис. 3.2 Создание нового проекта. Шаг второй. Выбор отладчика

Нажимаем кнопку Finish. Проект создан. Осталось проверить некоторые параметры и можно писать прошивку.

Устанавливаем частоту (поле Frequency) согласно настройкам вашего микроконтроллера (или ту частоту, которую вы планируете использовать). По умолчанию микроконтроллеры фирмы Atmel идут с завода настроенными на частоту 1 МГц. Обратите внимание, что частоту необходимо вводить в герцах, то есть для частоты, равной 1 МГц в это поле надо ввести значение 1000000.

Написание программы производится по обычным правилам, так же как в любом текстовом редакторе. При необходимости программу на ассемблере можно написать в любом текстовом редакторе и вставить в нужное место окна программы AVR Studio.

Ассемблирование и отладка

Для сборки прошивки нажимаем клавишу F7 или выбираем пункт меню Build->Build. Программа должна написать в окне Build о том, что сборка прошла успешно. Теперь можно запустить отладку прошивки. Для этого нажмите комбинацию клавиш Ctrl+Alt+Shift+F5 или выберите пункт меню Debug->Start debugging. Выполнение отладки сразу же остановится на первой команде вашей программы. Ниже перечислены основные команды, которые могут понадобиться при отладке.

Горячая клавиша	Команда	Описание команды
Ctrl+Alt+Shift+F5	Start Debugging	Запуск процесса отладки
Ctrl+Shift+F5	Stop Debugging	Прерывание процесса отладки
F10	Step Over	Сделать шаг без захода в функцию
F11	Step Into	Сделать шаг с заходом в функцию
Shift+F11	Step Out	Выполнить программу до выхода из текущей функции
Ctrl+F10	Run to Cursor	Выполнить программу до той строки кода, где установлен курсор

По остальным командам можно найти информацию во встроенной в программу справочной системе. Выполняя программу по шагам вы видите в окне I/O View состояние всех регистров. В том числе и состояние порта В, с которым мы и работаем. Состояние выключателя можно симитировать путем занесения вручную в порт В нужного значения. Указать значение на конкретной линии порта можно мышкой, выделив в окне I/O View нужный порт и щелкнув по нужному квадрату, символизирующему бит порта.

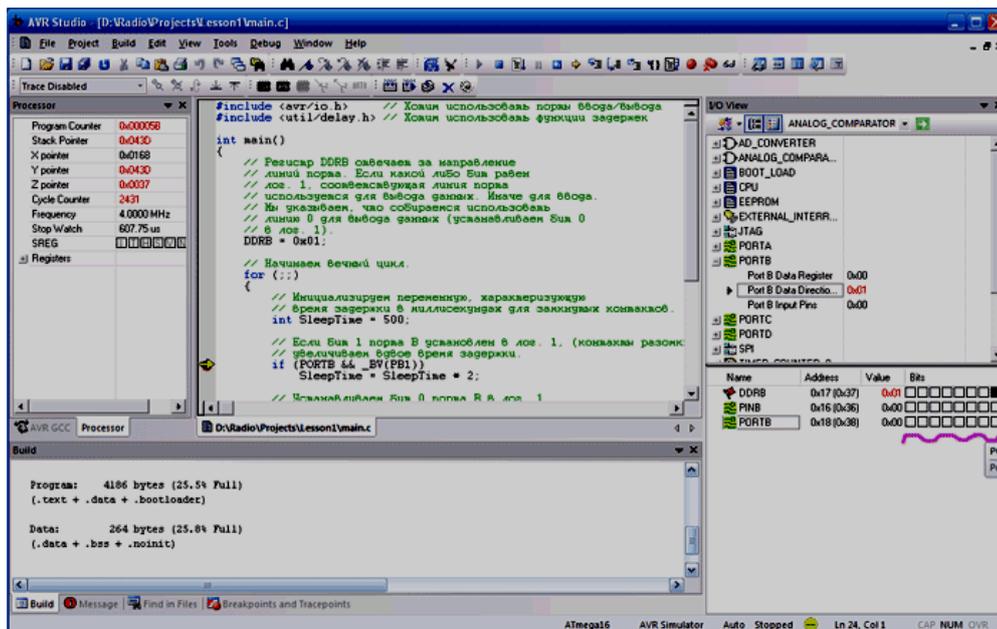


Рис.3.3. Программа AVR Studio в режиме отладки

Прошивку заливаем в микроконтроллер любым программатором. Если схема собрана правильно и прошивка залита корректно (не пренебрегайте верификацией), все должно сразу же заработать.

4. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Один из вариантов предложенного метода был реализован в контроллере заряда аккумуляторов для солнечной станции мощностью 110 Вт. Устройство управления реализовано на микроконтроллере ATmega16. Силовая часть контроллера выполнена по схеме повышающего преобразователя напряжения на полевом транзисторе IRFP3710.

Управление коэффициентом заполнения происходит с использованием алгоритма поиска максимума зарядного тока аккумуляторной батареи (упрощенного поискового метода MPPT).

4.1 Анализ полученных осциллограмм

Анализ осциллограмм (рис. 4.1, 4.2) позволяет сделать вывод о существенном влиянии индуктивности рассеяния дросселя на режим работы коммутирующего транзистора. Из-за появления паразитных выбросов энергии было решено использовать демфирующую цепь из последовательно соединенных резистора и конденсатора, параллельно подключенных к выводам силового диода и транзистора. Это позволило значительно снизить выбросы и повысить эффективность контроллера. Для уменьшения индуктивности соединений силовую схему следует изготавливать на двусторонней печатной плате и шириной дорожек не менее 8 мм.

4.2 Проверка номинальных характеристик

Проверка номинальных характеристик проводилась путем постепенного увеличения активной нагрузки силовой части контроллера.

Проверка показала, что значение выходного напряжения аккумулятора при входном напряжении от 10 В до 21В изменяется в пределах от 11,5 В до 28,8 В в зависимости от степени заряда аккумулятора, что удовлетворяет требованиям к системе на 12 или 24В рабочего напряжения.

Перегревов силовых элементов при работе с номинальной выходной мощностью не наблюдалось. Температура теплоотводов силовых элементов не превышала 75 градусов Цельсия, при температуре окружающей среды (воздуха внутри корпуса) 40 градусов.

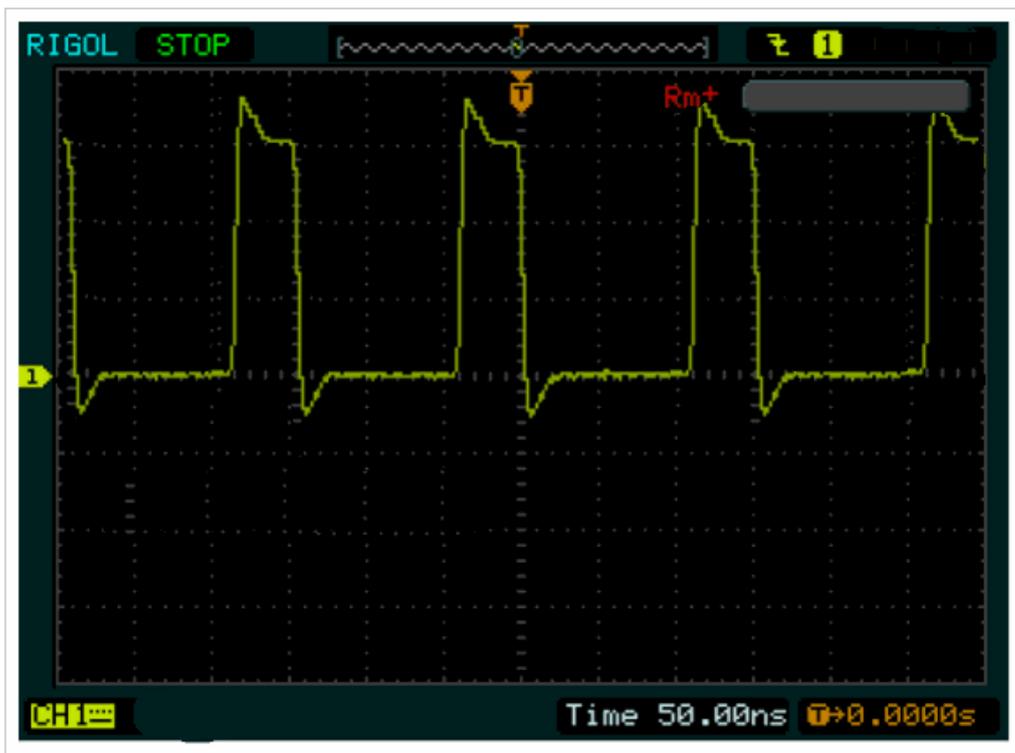


Рис. 4.1 Напряжение на стоке силового транзистора ($D = 70\%$).

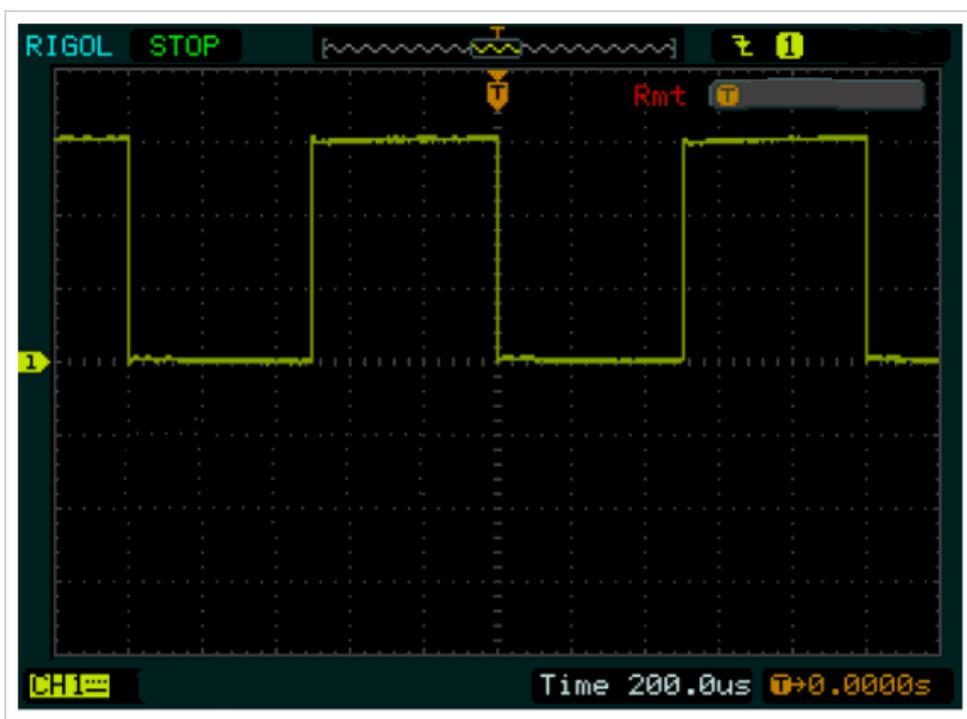


Рис. 4.2 Выходной сигнал ШИМ с ножки микроконтроллера ($D = 50\%$).



Рис. 4.3 Готовое устройство в корпусе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной диссертационной работе описывается разработка контроллера универсальной солнечной водоподъемной установки индивидуального использования для подъема воды с использованием солнечной энергии. Установка предназначена для контроля заряда и разряда аккумуляторной батареи, а также более эффективного использования солнечной энергии. Контроллер способен отслеживать напряжение и ток подающийся от солнечной панели на аккумуляторную батарею и находить максимальную полезную точку заряда. Одним из важных критериев контроллера является отслеживание температуры аккумуляторной батареи с помощью цифрового термодатчика DS1820 и установка максимального допустимого заряда, что предотвращает перезаряд аккумуляторных батарей в условиях повышенных температур. Также полезной функцией устройства является отслеживание времени, что позволяет не допустить полного разряда аккумуляторных батарей водоподъемной установки ближе к концу дня и позволяет запастись энергией на ночное время суток, для использования ее на освещение и другую полезную работу.

В разработке был использован микроконтроллер фирмы Atmel – ATMega16. Данный микроконтроллер отлично подошел для решения этой задачи, так как имеет 40 выводов и большое количество различной периферии. Для индикации был выбран LCD индикатор, который часто используется в современных устройствах. Устройство позволяет выводить на индикатор ток и напряжение заряда, ток нагрузки, температуру аккумуляторных батарей, реальное время. Также в контроллер можно ввести начальные установки, которые позволяют работать устройству более эффективно. Можно задать тип используемых аккумуляторных батарей, мощность солнечных панелей.

Контроллер является неотъемлемой частью систем солнечной энергетики, и от его эффективности в значительной степени зависит цена и срок окупаемости фотоэлектрических систем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Ю. Д. Сибикин, М. Ю. Сибикин — Москва, КноРус, 2010 г.
2. Возобновляемая энергетика: А. Б. Алхасов — Москва, ФИЗМАТЛИТ, 2010 г.
3. Гелиоэнергетика. Солнечные электрические станции: Ахмедов Р.Б. – ВИНТИ, 1986.
4. Герметичные химические источники тока. Элементы и аккумуляторы. Таганова А.А., 2005
5. Правила устройства электроустановок, часть 7, Глава 7.1, Электроустановки жилых, общественных, административных и бытовых зданий. Энергоатомиздат, 1985.
6. MPPT Control Methods in Wind Energy Conversion Systems Quebec Canada
7. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры: Справочник/ Г.С.Найвельт и др. – М.: Радио и связь, 1986.
8. Источники вторичного электропитания С.С.Букреев, В.А. Головацкий, Г. Н. Гулякович и др.; Под ред. Ю. И. Конева. – М.: Радио и связь, 1983.
9. Силовая электроника. Семенов Б. Ю. 2005
10. Сергеев Б.С. Схемотехника функциональных узлов источников вторичного электропитания: Справочник. – М.: Радио и связь, 1992.
11. Бродин В. Б., Калинин А. В. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики. – М.: ЭКОМ, 2002.
12. Грамперт В. Измерение, управление и регулирование с помощью AVR микроконтроллеров. пер. с нем. – Киев, МК-Пресс, 2006. – 208.
13. Мелешин В.И. Транзисторная преобразовательная техника. Москва, Техносфера, 2005г. 632.
14. Дьяконов В.П. и др Схемотехника устройств на мощных полевых транзисторах. Справочник. – М.: Радио и связь, 1994г. – 280.
15. Справочник по расчету фильтров Пер. с немецкого Камкина Ю.В., под ред. Слепова Н.Н. – М.: Радио и связь, 1983г.
16. Правила устройства электроустановок. Глава 4.4. Аккумуляторные установки. Энергоатомиздат, 1985.
17. <http://www.csb-battery.com/>

18. Моин В.С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1986.–376
19. Ферриты и магнитодиэлектрики: Справочник под общей редакцией Горбунова Н.Д. Советское радио, 1968.
20. Аксенов А.И. и др. Отвод тепла в полупроводниковых приборах. – М.: Энергия, 1971.
21. Измерения в электронике: Справочник/ Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987.
22. Аналоговая и цифровая схемотехника. Бубнов А. В., Гвозденко К. Н., Гокова М. В.Издательство: ОмГТУ, 2010
23. Электроника. Цифровые элементы и устройства. Чье Ен Ун Хабаровск: Изд-во ХГТУ, 2002.
24. P-CAD 2006. Схемотехника и проектирование печатных плат. Динц К.М. 2009
25. Визуальное моделирование электронных схем в PSPICE. Хайнеманн Р. Издательство ДМК Пресс, 2008.
26. Искусство схемотехники. Хоровиц П. Хилл У. Издательство Мир, 5-е издание 1998
27. Основы схемотехники микроэлектронных устройств. Белоус А.И. Емельянов В.А. Турцевич А.С. Издательство Техносфера, 2012.
28. Полупроводниковая схемотехника. Титце У. Шенк К. 1982
29. Практическая схемотехника в промышленной автоматике. Гальперин М.В. Издательство Энергоатомиздат, 1987
30. Практическая схемотехника. Контроль и защита источников питания. Книга 4, Шустов М.А., Издательство Аль-текс, 2007.
31. www.promcontroller.ru/
32. www.bibliotekar.ru/
33. biblioza.ru/
34. alternativenergy.ru/
35. solareview.blogspot.com/
36. solarsoul.net/
37. solar-battery.narod.ru/
38. forum.easyelectronics.ru
39. cxemotexnika.org/
40. www.softelectro.ru/

ПРИЛОЖЕНИЕ

/******

This program was produced by the
CodeWizardAVR V2.05.3 Standard
Automatic Program Generator
Project : Charge Controller.
Version :
Date : 26.03.2013
Author : Mukhutdiniv N.
Chip type : ATmega16
Program type : Application
AVR Core Clock frequency: 16,0000 MHz
Memory model : Small
External RAM size : 0
Data Stack size : 256

*****/

```
#include <mega16.h>
#include <delay.h>
/* include the abs function prototype */
#include <stdlib.h>
// Alphanumeric LCD functions
#include <alcd.h>
//#asm
// .equ __w1_port=0x15
// .equ __w1_bit=3
//#endasm
#include <ds1820.h>
#include <1wire.h>
#include <USART&LCD_Settings.h>
// Standard Input/Output functions
#include <stdio.h>
#include <defines.h>
#include <delay.h> // готовые функции задержек
#include <ds1307.h>
```

```

#include <ds1307_twi.h>
// Declare your global variables here

/***** variables from menu began *****/
unsigned char
menu1,menu2,menu10,accumul_type,accumul_cap,solar_panel,adc_result1,adc3_result1;
char lcd_text[16],lcd_buffer[16];
signed char top; // ЖК-модуль инициализации
//char sign; //переменная для хранения знака датчика температуры
unsigned int
adc_result,adc_result2,adc3_result,adc3_result2,adc1_result,adc1_result1,adc1_result2,adc7_res
ult,adc7_result1,adc7_result2; //переменная для хранения температуры
//int adc_result;
int temp,test;
unsigned char hour,minute,sec,week_day,day,month,year;
/***** variables from menu finished *****/
#define ADC_VREF_TYPE 0x00 // теперь препроцессор везде в тексте программы
заменит "ADC_VREF_TYPE" на "0x00"
interrupt [ADC_INT] void adc_isr(void) {
// Прерывания для считывания данных с АЦП
switch (ADMUX) {
case 2: //считывание данных с АЦП2
adc_result = ADCW; //ADCH; trash=ADCL;
ADMUX=0b00000011;
ADCSRA|=(1<<ADSC);
break;
case 3: //считывание данных с АЦП3
adc3_result = ADCW; //ADCH; trash=ADCL;
ADMUX=0b00000111;
ADCSRA|=(1<<ADSC);
break;
case 7: //считывание данных с АЦП7
adc7_result = ADCW; //ADCH; trash=ADCL;
ADMUX=0b00000010;
ADCSRA|=(1<<ADSC);

```

```

        break;
    };
};

void main(void)
{
    //настраиваем АЦП и запускаем АЦП2
    ADMUX =
(0<<REFS1)|(0<<REFS0)|(0<<ADLAR)|(0<<MUX3)|(0<<MUX2)|(1<<MUX1)|(0<<MUX0);
    ADCSRA =
(1<<ADEN)|(1<<ADSC)|(0<<ADATE)|(1<<ADIE)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
    accumul_type=2;
    #include <pwm.h> //настройки ШИМ
    // Input/Output Ports initialization
    #include <Ports_initialization.h>
    // Global enable interrupts
    SREG |= (1<<7); //разрешаем все прерывания
    lcd_init(16); // инициализация на 16 символов
    w1_init(); //инициализация термодатчика на 1проводной линии
    //настройка ds1307 по шине twi
    /*twi_master_init(100); /* initialize the TWI in master mode with 100 kHz bit rate */
    /* initialize the RTC
        square wave output is disabled
        SQW/OUT has logic state 0 */
    //rtc_init(0,0,0);
    //rtc_set_time(12,0,0); /* set time 12:00:00 */
    //rtc_set_date(2,1,2,11); // set date Tuesday 1/02/2011 */
    //настройка ds1307 по шине I2C
    /* initialize the bit-banged I2C functions */
    i2c_init();
    /* initialize the RTC square wave output is disabled SQW/OUT has logic state 0 */
    rtc_init(0,0,0);
    //rtc_set_time(10,03,0); /* set time 12:00:00 */
    //rtc_set_date(5,28,5,13); // set date Tuesday 24/02/2013 */
    while (1)
    {

```

```

// Place your code here
#include <Menu.h>
/*if (ADMUX==0b00000010){ //Uchar
if ((ADCSRA &(1<<ADIF))) {
adc_result = ADCW; //; trash=ADCL; ADCW*/
adc_result1 = adc_result/28.84; //расчитываем данные полученные с АЦП2
adc_result2 = adc_result/0.02884;
/*delay_us(40);
ADCSRA &=(0<<ADSC);
ADMUX=0b00000011;
ADCSRA
=(1<<ADEN)|(1<<ADSC)|(0<<ADATE)|(0<<ADIE)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
delay_us(40);
};
}; */

if (adc_result>392) { PORTB = PORTB | 0b00001000; //реле отключает солнечную
панель от перезаряда
}
else {PORTB = PORTB & 0b11110111;
};

if((adc_result<332)) { PORTB = PORTB & 0b11110111; //реле отключает нагрузку
от перезаряда
}
else {PORTB = PORTB | 0b00010000;
};
/* if (ADMUX==0b00000011){ //Ichar
if ((ADCSRA &(1<<ADIF))) {
adc3_result = ADCW; //ADCH; trash=ADCL;*/
adc3_result1 = adc3_result/25.6; //расчитываем данные полученные с АЦП3
adc3_result2 = adc3_result/0.256;
/* delay_us(40);
ADCSRA &=(0<<ADSC);
ADMUX=0b00000001;

```

```

    ADCSRA
=(1<<ADEN)|(1<<ADSC)|(0<<ADATE)|(0<<ADIE)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
    delay_us(40);
};
};
if (ADMUX==0b00000001){
    if ((ADCSRA &(1<<ADIF))) {
        adc1_result = ADCW; //ADCH; trash=ADCL; */
        adc1_result1 = adc1_result/204.8; //расчитываем данные полученные с АЦП1
        adc1_result2 = adc1_result/0.2048;
/* delay_us(40);
        ADCSRA &=(0<<ADSC);
        ADMUX=0b00000111;
        ADCSRA
=(1<<ADEN)|(1<<ADSC)|(0<<ADATE)|(0<<ADIE)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
        delay_us(40);
};
};
if (ADMUX==0b00000111){ //Uout
    if ((ADCSRA &(1<<ADIF))) {
        adc7_result = ADCW; //ADCH; trash=ADCL; */
        adc7_result1 = adc7_result/7.314; //расчитываем данные полученные с АЦП7
        adc7_result2 = adc7_result/0.07314;
/* delay_us(40);
        ADCSRA &=(0<<ADSC);
        ADMUX=0b00000010;
        ADCSRA
=(1<<ADEN)|(1<<ADSC)|(0<<ADATE)|(0<<ADIE)|(1<<ADPS2)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
        delay_us(40);
};
}; */
// w1_init();
SREG &=(0<<7); //отключаем прерывания чтобы нормально считать данные с
датчика
    temp = ds1820_temperature_10(0); //считываем данные с термодатчика

```

```

test= temp+600;
top=w1_init();
//считывание времени и даты с DS1307
/* read the time from the RTC */
rtc_get_time(&hour,&minute,&sec);
/* read the date from the RTC */
rtc_get_date(&week_day,&day,&month,&year);
// display the time on the LCD */
SREG |=(1<<7); //включаем прерывания */

//OCR1AL++; //увеличивает ШИМ на ножке OC1B PD4
OCR1BL=127;
};
}

```

Реализация меню:

```

if (!(but_up)&(menu10<2)) {menu1-- ;
};
//delay_ms(30);
// проверка кнопки вверх
if (!(but_down)&(menu10<2)) {menu1++ ;
};
//delay_ms(20);
// проверка кнопки вниз
if (!(but_up)&(menu10>1)) {menu2-- ;
};
//delay_us(100);
// проверка кнопки вверх
if (!(but_down)&(menu10>1)) {menu2++ ;
};
//delay_us(100);
// проверка кнопки вниз
if (!(but_left)) {menu10-- ; menu2=0;
};
//delay_us(100);

```

```

        // проверка кнопки влево
if (!(but_right)) {menu10++;
};
//delay_us(100);
        // проверка кнопки вправо
/*if (!(but_ok)) {menu3=1 ;
};
*/          // проверка кнопки ОК
//if (menu<11) {menu=11;};
//if (menu>400) {menu=300;};

switch (menu10) {
case 0: menu10++;
case 1: //1 строка в 1 столбце
        switch (menu1) { // во втором уровне
                case 0: // если нажатие кнопки выходит за верхний предел столбца
                        menu1++;
                case 1:
                        lcd_clear(); // очистка дисплея
                        lcd_putsf("> Accumul type>\n Accumul cap >"); // вывод надписи в
указанных координатах
                        break;

                case 2: //1 строка в 1 столбце
                        lcd_clear(); // очистка дисплея
                        lcd_putsf(" Accumul type>\n> Accumul cap >"); // вывод надписи в
указанных координатах
                        break;

                case 3: //3 строка в 1 столбце
                        lcd_clear(); // очистка дисплея
                        lcd_putsf(" Accumul cap >\n> Solar Panel >"); // вывод надписи в
указанных координатах
                        break;
                case 4: //4 строка в 1 столбце

```

```

lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_putsf(" Solar Panel >"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);
lcd_putsf("> PWM control >");
break;
case 5: //7 строка в 1 столбце
lcd_clear();    // очистка дисплея
//lcd_putsf(" Charge Voltage"); // вывод надписи в указанных
координатах
lcd_putsf(" PWM control >");
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_text, "> I char=%i",adc3_result1);
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-
if (adc3_result1>=10) {
sprintf(lcd_text, "%.u",adc3_result2%100);
}
else{sprintf(lcd_text, "%.u",adc3_result2%100);
};
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-
break;

case 6: //5 строка в 1 столбце
lcd_clear();    // очистка дисплея
//lcd_putsf(" Charge current\n> Charge Voltage"); // вывод надписи в
указанных координатах
sprintf(lcd_text, " I char=%i",adc3_result1);
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-
if (adc3_result1>=10) {
sprintf(lcd_text, "%.u",adc3_result2%100);
}
else{sprintf(lcd_text, "%.u",adc3_result2%100);
};

```

```
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной  
вывод на ЖК-
```

```
lcd_gotoxy(0,1);  
sprintf(lcd_text, "> I out=%i",adc7_result1);  
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
```

вывод на ЖК-

```
if (adc3_result1>=100) {  
    sprintf(lcd_text, "%.u",adc7_result2%1);  
};  
if (adc3_result1>=10) {  
    sprintf(lcd_text, "%.u",adc7_result2%10);  
}  
else{sprintf(lcd_text, "%.u",adc7_result2%100);  
};  
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
```

вывод на ЖК-

```
break;
```

case 7: //5 строка в 1 столбце

```
lcd_clear(); // очистка дисплея  
//lcd_putsf(" Charge current\n> Charge Voltage"); // вывод надписи в
```

указанных координатах

```
sprintf(lcd_text, " I out=%i",adc7_result1);//,adc3_result1);  
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
```

вывод на ЖК-

```
if (adc3_result1>=100) {  
    sprintf(lcd_text, "%.u",adc7_result2%1);  
};  
if (adc3_result1>=10) {  
    sprintf(lcd_text, "%.u",adc7_result2%10);  
}  
else{sprintf(lcd_text, "%.u",adc7_result2%100);  
};  
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
```

вывод на ЖК-

```

        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(lcd_text, "> U char=%i",adc_result1);
        lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-

        sprintf(lcd_text, "%.u",adc_result2%1000);
        lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-

        break;

case 8: //6 строка в 1 столбце
        lcd_clear(); // очистка дисплея
        //lcd_putsf(" Charge Voltage"); // вывод надписи в указанных
координатах

        sprintf(lcd_text, " U char=%i",adc_result1);
        lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-

        sprintf(lcd_text, "%.u",adc_result2%1000);
        lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-

        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(lcd_buffer,"> ADC U=%i",adc_result);
        lcd_puts(lcd_buffer);
        break;

case 9: //6 строка в 1 столбце
        lcd_clear(); // очистка дисплея
        //lcd_putsf(" Charge Voltage"); // вывод надписи в указанных
координатах

        sprintf(lcd_buffer," ADC U=%i",adc_result);
        lcd_puts(lcd_buffer);
        lcd_gotoxy(0,1);
        sprintf(lcd_buffer,"> Time:%2d:%02d:%02d\n",hour,minute,sec);
        lcd_puts(lcd_buffer);
        break;

case 10: //6 строка в 1 столбце
        lcd_clear(); // очистка дисплея

```

```

//lcd_putsf(" Charge Voltage"); // вывод надписи в указанных
координатах
sprintf(lcd_buffer," Time:%2d:%02d:%02d\n",hour,minute,sec);
lcd_puts(lcd_buffer);
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_buffer,"> %2d/%02d/%d",day,month,2000+year);
lcd_puts(lcd_buffer);
break;
case 11: //6 строка в 1 столбце
lcd_clear(); // очистка дисплея
//lcd_putsf(" Charge Voltage"); // вывод надписи в указанных
координатах
sprintf(lcd_buffer," %2d/%02d/%d",day,month,2000+year);
lcd_puts(lcd_buffer);
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_buffer,"> T bat=%i",temp);
lcd_puts(lcd_buffer);
break;
case 13: //8 строка в 1 столбце переполнение
menu1-- ;
case 12: //6 строка в 1 столбце
lcd_clear(); // очистка дисплея
//lcd_putsf(" Charge Voltage"); // вывод надписи в указанных
координатах
//sprintf(lcd_text, " T ac = %i",temp);
//lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-
sprintf(lcd_buffer," T bat=%-i.-%u\xdfC",test/10,test%10);
lcd_puts(lcd_buffer);
lcd_gotoxy(0,1);
sprintf(lcd_text, "> Device = %i",top);
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-
//sprintf(lcd_text, ".%u",adc_result2%1000);

```

```

//lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
вывод на ЖК-
break;
};

break;
case 3: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
menu10--;
case 2: //2 строка в 1 столбце
switch (menu1) { // во втором уровне
case 0: // если нажатие кнопки выходит за верхний предел столбца
menu1++ ;
case 1: //1 строка в 2 столбце
switch (menu2) {
case 0: // если нажатие кнопки выходит за верхний предел столбца
menu2++ ;
case 1:
if (!(but_ok)) {accumul_type=1; };
if (accumul_type==1) {
lcd_clear(); // очистка дисплея
lcd_putsf(">*Accum servise\n Accum unserv"); // вывод надписи в
указанных координатах
}
else{
lcd_clear(); // очистка дисплея
lcd_putsf("> Accum servise\n *Accum unserv"); // вывод надписи в
указанных координатах
};
break;
case 3: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
menu2--;
case 2: //2 строка в 1 столбце
if (!(but_ok)) {accumul_type=2;};
if (accumul_type==2) {
lcd_clear(); // очистка дисплея

```

```

        lcd_putsf(" Acum servise\n>*Acum unserv"); // вывод надписи в
указанных координатах
    }
    else{
        lcd_clear(); // очистка дисплея
        lcd_putsf(" *Acum servise\n> Acum unserv"); // вывод надписи в
указанных координатах
    };
    break;
};
break;
case 2: //2 строка в 2 столбце
    switch (menu2) { // во втором уровне
    case 0: // если нажатие кнопки выходит за верхний предел столбца
        menu2++;
    case 1: //1 строка в 1 столбце
        if (!(but_ok)) {accumul_cap=1;};
        if (accumul_cap==1) {
            lcd_clear(); // очистка дисплея
            lcd_putsf(">*62A/h Accum\n 100A/h Accum"); // вывод надписи в
указанных координатах
            break;};
        if (accumul_cap==2) {
            lcd_clear(); // очистка дисплея
            lcd_gotoxy(0,0); // верхняя строка 4 позиция
            lcd_putsf("> 62A/h Accum"); // вывод надписи в указанных координатах
            lcd_gotoxy(0,1); // спускаемся на нижнюю стрчку
            lcd_putsf(" *100A/h Accum"); // выводим текст
            break;}
        else {
            lcd_clear(); // очистка дисплея
            lcd_gotoxy(0,0); // верхняя строка 4 позиция
            lcd_putsf("> 62A/h Accum"); // вывод надписи в указанных координатах
            lcd_gotoxy(2,1); // спускаемся на нижнюю стрчку
            lcd_putsf("100A/h Accum"); // выводим текст

```

```

break;};

case 2:
    if (!(but_ok)) {accumul_cap=2;};
    if (accumul_cap==1) {
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(0,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf(" *62A/h Accum"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf("> 100A/h Accum");    // выводим текст
break;};
    if (accumul_cap==2) {
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(2,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf("62A/h Accum"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf(">*100A/h Accum");    // выводим текст
break;}
    else{
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(2,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf("62A/h Accum"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf("> 100A/h Accum");    // выводим текст
break;};

case 4: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
menu2--;

case 3: //2 строка в 1 столбц2жж
    if (!(but_ok)) {accumul_cap=3;};
    if (accumul_cap==2) {
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(0,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf(" *100A/h Accum"); // вывод надписи в указанных
координатах
lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку

```

```

    lcd_putsf("> 200A/h Accum");    // выводим текст
    break;
};
if (accumul_cap==3) {
    lcd_clear();    // очистка дисплея
    lcd_gotoxy(2,0);    // верхняя строка 4 позиция
    lcd_putsf("100A/h Accum"); // вывод надписи в указанных координатах
    lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
    lcd_putsf(">*200A/h Accum");    // выводим текст
    break;
}
else {
    lcd_clear();    // очистка дисплея
    lcd_gotoxy(2,0);    // верхняя строка 4 позиция
    lcd_putsf("100A/h Accum"); // вывод надписи в указанных координатах
    lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
    lcd_putsf("> 200A/h Accum");    // выводим текст
    break;};
};
break;
case 3: //2 строка в 2 столбце
    switch (menu2) { // во втором уровне
    case 0: // если нажатие кнопки выходит за верхний предел столбца
        menu2++;
    case 1: //1 строка в 1 столбце
        if (!(but_ok)) {solar_panel=1;};
        if (solar_panel==1) {
            lcd_clear();    // очистка дисплея
            lcd_gotoxy(0,0);    // верхняя строка 4 позиция
            lcd_putsf(">*100W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
            lcd_gotoxy(2,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
            lcd_putsf("200W Panel");    // выводим текст
            break;
        };
        if (solar_panel==2) {

```

```

lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(0,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf("> 100W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf(" *200W Panel");    // выводим текст
break;
}
else{
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(0,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf("> 100W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(2,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf("200W Panel");    // выводим текст
break;
};
case 2:
if (!(but_ok)) {solar_panel=2;};
if (solar_panel==1) {
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(0,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf(" *100W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf("> 200W Panel");    // выводим текст
break;
};
if (solar_panel==2) {
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(2,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf("100W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);    // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf(">*200W Panel");    // выводим текст
break;
}
else {
lcd_clear();    // очистка дисплея

```

```

lcd_gotoxy(2,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf("100W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);   // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf("> 200W Panel"); // выводим текст
break;
};
case 4: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
menu2--;
case 3: //2 строка в 1 столбце
if (!(but_ok)) { solar_panel=3;};
if (solar_panel==2) {
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(0,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf(" *200W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);   // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf("> 300W Panel"); // выводим текст
break;
};
if (solar_panel==3) {
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(2,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf("200W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);   // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf(">*300W Panel"); // выводим текст
break;
}
else {
lcd_clear();    // очистка дисплея
lcd_gotoxy(2,0);    // верхняя строка 4 позиция
lcd_putsf("200W Panel"); // вывод надписи в указанных координатах
lcd_gotoxy(0,1);   // спускаемся на нижнюю стрчку
lcd_putsf("> 300W Panel"); // выводим текст
break;
};
};
};

```

```
break;
```

```
case 4: //2 строка в 2 столбце
```

```
switch (menu2) { // во втором уровне
```

```
case 0: // если нажатие кнопки выходит за верхний предел столбца
```

```
menu2++;
```

```
case 1: //1 строка в 1 столбце
```

```
lcd_clear(); // очистка дисплея
```

```
lcd_gotoxy(0,0); // верхняя строка 4 позиция
```

```
sprintf(lcd_text, "+ PWM=%i",OCR1AL);
```

```
if (!(but_ok)) {OCR1AL++;};
```

```
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
```

вывод на ЖК-

```
lcd_gotoxy(0,1);
```

```
sprintf(lcd_text, " PWM=%i",OCR1AL);
```

```
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
```

вывод на ЖК-

```
break;
```

```
case 3: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
```

```
menu2--;
```

```
case 2: //2 строка в 1 столбце
```

```
lcd_clear(); // очистка дисплея
```

```
lcd_gotoxy(0,0); // верхняя строка 4 позиция
```

```
sprintf(lcd_text, " PWM=%i",OCR1AL);
```

```
if (!(but_ok)) {OCR1AL--};
```

```
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
```

вывод на ЖК-

```
lcd_gotoxy(0,1);
```

```
sprintf(lcd_text, "- PWM=%i",OCR1AL);
```

```
lcd_puts(lcd_text); // Десятичное изменения в символьной переменной
```

вывод на ЖК-

```
break;
```

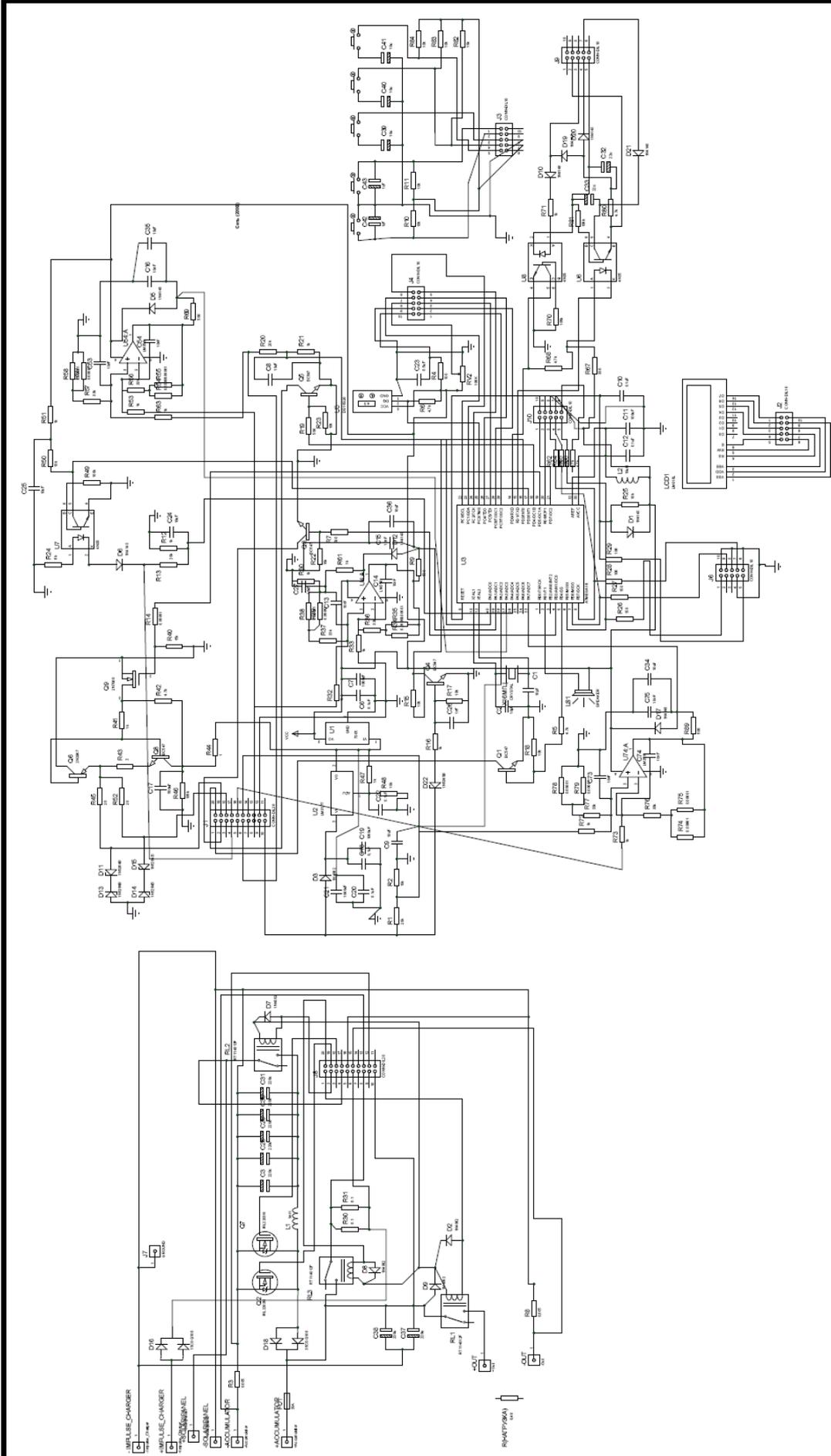
```
};
```

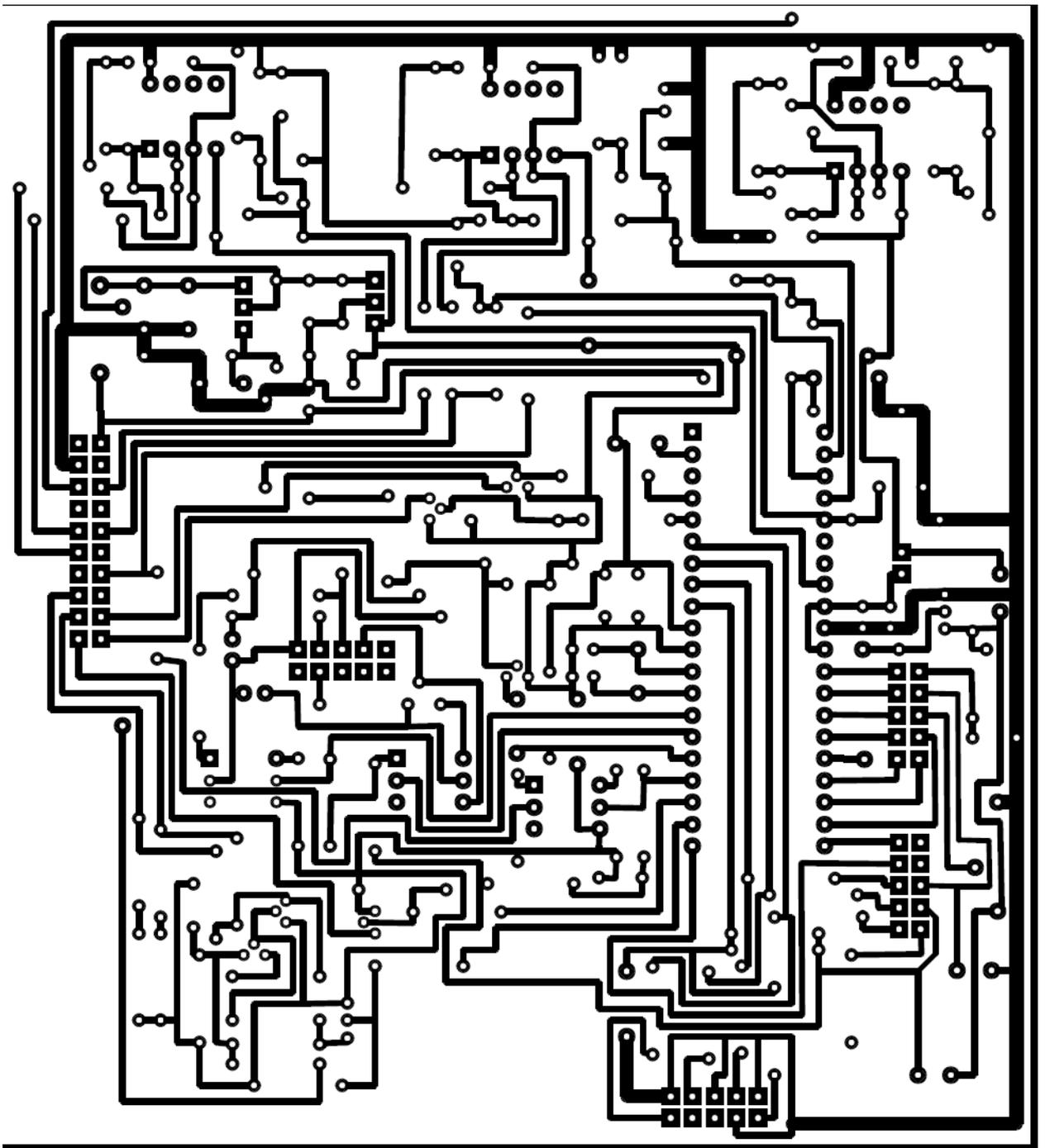
```
break;
```

```
case 5: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
```

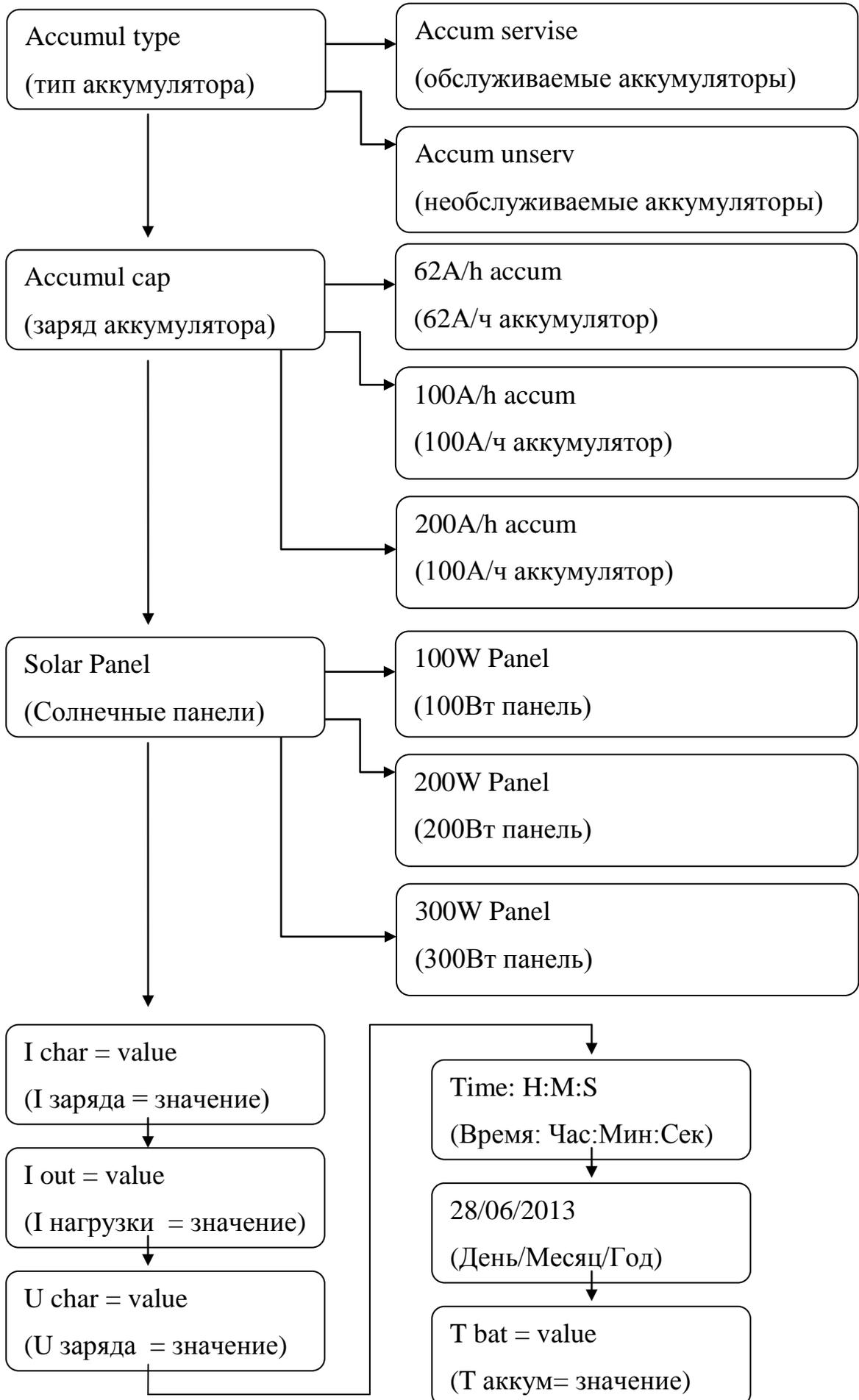
```
    menu10=1;
    break;
case 6: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    break;
case 7: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    break;
case 8: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    break;
case 9: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    break;
case 10: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    break;
case 11: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    break;
case 12: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    break;
case 13: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    menu1--;
    break;
case 14: // если нажатие кнопки выходит за нижний предел столбца
    menu10=1;
    } break;
};
```

```
// delay_ms (10);
```





Меню контроллера солнечной водоподъемной станции:





Внутренняя схема контроллера солнечной водоподъемной установки.



Силовая часть схемы контроллера солнечной водоподъемной установки.