

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

(институт)

Промышленная электроника

(кафедра)

11.03.04 Электроника и микроэлектроника

(код и наименование направления подготовки, специальности)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему **МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОДНОФАЗНЫХ
СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКО-
ГО УЧЕТА**

Студент(ка)	<u>Д.Ю. Устимов</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Руководитель	<u>к.т.н., доцент В.А. Медведев</u> (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
Консультанты	_____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)
	_____ (И.О. Фамилия)	_____ (личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент А.А. Шевцов _____ (личная подпись)
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

« _____ » _____ 20 _____ г.

Тольятти 2016

Аннотация

УДК 621.314.572

ББК 32 852

Бакалаврская работа Устимова Дмитрия Юрьевича по теме «Микропроцессорный модуль для однофазных счетчиков электроэнергии с системой автоматического учета». Руководитель: Медведев Валерий Александрович. Защищена в Тольяттинском государственном университете в 2016 году.

Пояснительная записка: 81с., 4 разд., 51 рис., 8 табл., прил. 2 с.

Графическая часть - 6 листов формата А1.

Ключевые слова: электронный счетчик электрической энергии, PLC-модем передачи данных, SCADA система Trace Mode 6, принципиальная схема, микроконтроллер семейства MSP, программирование контроллера, калибровка.

Бакалаврская работа посвящена разработке микропроцессорного модуля для однофазных счетчиков электроэнергии с системой автоматического учета. В ходе проектирования устройства разработана структурная схема модуля, дано обоснование выбора элементной базы, разработаны принципиальная схема и печатная плата модуля. Выбраны средства программирования и отладки микроконтроллера.

Содержание

Введение	5
1 Аналитическая часть. Исследование современного рынка счетчиков электрической энергии.....	7
1.1 Классификация и основные параметры электрических счетчиков.....	7
1.2 Однофазный индукционный счетчик электрической энергии.....	8
1.3 Электронные счетчики электрической энергии.....	10
1.3.1 Электронные счетчики с частотным выходом и электромеханическим индикатором.....	11
1.3.2 Электронные счетчики с цифровым выходом и ЖК индикатором	14
1.4 Датчики тока и напряжения, используемые в электросчетчиках	16
1.4.1 Резистивные датчики	17
1.4.2 Трансформаторные датчики	18
1.5 Технологии передачи данных по линиям электропитания	20
1.5.1 Основные области применения средств связи на основе электрических сетей.....	21
1.5.2 Архитектура информационного взаимодействия на основе электросетей.....	22
1.5.3 Базовые компоненты коммуникационного узла «электрической сети связи»	24
1.5.4 Технологии и продукты передачи данных по электрическим сетям ..	25
2 Расчетная часть. Проектирование управляющего микроконтроллера однофазного счетчика электрической энергии	28
2.1 Разработка структурной схемы однофазного электросчетчика	28
2.2 Описание функциональной схемы разработанного устройства	32
2.3 Обоснование выбора микроконтроллера MSP430FE42x	35
2.4 Выбор PLC-модема передачи данных.....	41
2.5 Выбор ЖК индикатора для однофазного счетчика.....	47
2.6 Расчет надежности управляющего микроконтроллера.....	49

3 Конструкторская часть. Реализация и ввод в эксплуатацию управляющего микроконтроллера.....	52
3.1 Калибровка разработанного электросчетчика	52
3.1.1 Калибровка при непрерывном измерении	52
3.1.2 Калибровка при помощи ПК	55
3.1.3 Самокалибровка.....	56
3.2 Рекомендации по трассировке печатной платы счетчика.....	57
3.3 Оценочные платы для настройки микроконтроллеров MSP430FE42х	60
3.4 Средства отладки и программирования микроконтроллеров MSP430	63
3.4.1 Интерфейс внутрисхемного программирования JTAG	63
3.4.2 Программные средства разработки	65
3.5 Отладка PLC-модема	67
4 Оценка экономической эффективности применения управляющего микроконтроллера.....	69
4.1 Выбор и обоснование базового варианта.....	69
4.2 Расчет экономической эффективности	71
4.2.1 Затраты по статье «Материалы основные».....	72
4.2.2 Затраты по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»	72
4.2.3 Затраты по статье «Зарплата».....	73
4.2.4 Отчисления и накладные расходы	75
4.2.5 Себестоимость продукции	75
4.2.6 Расчет экономического эффекта.....	76
Заключение	79
Список литературы	80

Введение

С тех пор, как электроэнергия стала покупаться и продаваться, иначе говоря, превратилась в товар, появилась необходимость ее учета. Впервые устройство под названием "Электрический счетчик" создал и запатентовал Томас Эдисон в 1881 году. Существенный недостаток этого прибора, помимо низкой точности измерения, заключался в высокой сложности считывания информации для энергетической компании и невозможности проведения этой операции для потребителя.

С тех пор подобные устройства прошли долгий путь совершенствования и в настоящее время на мировом рынке конкурируют два основных вида счетчиков электрической энергии – уже устаревшие электромеханические счетчики индукционного типа и современные электронные (статические) счетчики, которые строятся на основе достижений микроэлектроники.

Российская электроэнергетика долгое время не обращала должного внимания на уровень качества электросчетчиков. Только в 1997 году был прекращен выпуск однофазных индукционных электросчетчиков класса точности 2,5 и произошел переход к производству счетчиков только класса точности 2,0.

В то же время определились основные типы электросчетчиков, доминирующих на российском рынке – это, прежде всего, индукционные и электронные счетчики. Результаты сбытовой деятельности указывают на явное лидерство индукционных счетчиков над электронными. Причем конструкции этих индукционных счетчиков, построены на базовых разработках 60-70-х годов, за исключением незначительных модернизаций и улучшения внешнего вида.

Однако такое положение вещей будет сохраняться недолго, потому что преимущества электронных счетчиков очевидны. Это не только более компактные размеры, легкость в производстве, более высокий класс точности, но и множество дополнительных функций, которые можно реализовать, используя заложенные в такой счетчик технологии. Среди них возможность использования нескольких тарифов и быстрого переключения между ними, отображение объема потребления энергии в реальном времени, удаленное снятие показаний, а также

еще множество функций, которые открываются при объединении всех счетчиков в единую сеть.

В настоящее время на рынке систем автоматизированного учета с удаленным доступом наиболее востребованной считается технология Ethernet, которая обеспечивает передачу данных по имеющимся телефонным линиям. Определенное положение в данном сегменте также занимают технологии широкополосного беспроводного радиодоступа, доступа по сетям кабельного телевидения, передача данных в сетях сотовой связи.

Такие факторы, как обширная распространенность электрических сетей 0,2-0,4 кВ, отсутствие необходимости дорогостоящего строительства кабельной канализации, пробивки стен и прокладки кабелей связи и пр. стимулируют исследование силовых сетей как альтернативной среды передачи данных и развитие еще одной технологии широкополосного доступа - по электросетям. Эта технология получила название PLC – Power Line Communications.

Современная PLC технология позволяет передавать данные со скоростью 200 Мбит/с на уровне PLC и до 100 Мбит/с на уровне приложений, что значительно выше требований, предъявляемых разработчиками систем автоматизированного учета. Снижение требований по скорости передачи данных позволяет значительно упростить протоколы передачи данных удешевить используемое оборудование.

В свете всего вышесказанного разработка недорогих модулей для однофазных счетчиков электроэнергии для систем автоматического учета с интерфейсом PLC видится приоритетной задачей, т.к. в недалеком будущем российский рынок электроэнергетики будет остро нуждаться в подобных устройствах.

1 Аналитическая часть. Исследование современного рынка счетчиков электрической энергии

1.1 Классификация и основные параметры электрических счетчиков

Счетчик электроэнергии – это электроизмерительный прибор, предназначенный для учета потребленной электроэнергии, переменного или постоянного тока (измеряется в кВт/ч или А/ч). Электросчетчики применяются там, где осуществляется легальное потребление электроэнергии и дает возможность существенно экономить бюджет, следя за потреблением электроэнергии в любой заданный период времени.

В настоящее время в России производится довольно большая гамма электросчетчиков. Они могут быть одно- или многофункциональными, позволяют работать с одним или сразу с несколькими тарифами, т.е. дифференцируя их по времени или по другим показателям. Выпускаются однофазные и трехфазные счетчики, электронные или классические индукционные [1-3].

Как правило, основной выбор потребителю приходится делать между индукционными и электронными электросчетчиками, которые могут быть с механическим или жидкокристаллическим отсчетным механизмом. Электронные счетчики характеризуются более высокой точностью и надежностью в сравнении с индукционными электросчетчиками.

Принцип работы индукционных электросчетчиков (электромеханические электросчетчики) заключается во вращении подвижной части прибора, выполненной в виде металлического диска и учете/выдаче количества оборотов диска специальным счетным механизмом. Количество потребленной энергии при этом прямо пропорционально числу оборотов диска.

Индукционные электросчетчики имеют наибольшее распространение, т.к. повсеместно устанавливались почти с конца девятнадцатого века. Но и сейчас многие потребители не спешат переходить на более современные электронные счетчики энергии, хотя индукционные счетчики являются физически устаревшими и не поддерживают ни многотарифный учет энергии, ни дистанционный съём показаний счетчика.

Электронные электросчетчики (статические электросчетчики) в отличие от индукционных счетчиков построены на основе микросхем, не имеют вращающихся частей и совершают преобразование сигналов, которые поступают с измерительных элементов, в пропорциональные величины мощности и энергии [2].

Наиболее важные функции электронных счетчиков энергии – это тарифность счетчика и класс точности. Электросчетчик может быть однотарифным или двухтарифным. Двухтарифные счетчики дают возможность платить за электроэнергию меньше, так как в установленное время они автоматически переключаются на ночной тариф, который почти в 2 раза ниже дневного. Двухтарифная система расчетов предполагает отдельные тарифы для дня (с 7:00 до 23:00) и ночи (с 23:00 до 7:00). Например, в Москве ночные тарифы дешевле в четыре раза, а в Санкт-Петербурге - примерно в два раза. Поскольку ночной тариф значительно ниже дневного, это дает возможность существенно сократить расходы на оплату электроэнергии (особенно при переводе на ночной режим таких энергоёмких приборов, как стиральные машины или электрообогреватели).

Класс точности электросчетчика указывает на уровень погрешности измерений прибора. Ранее все счетчики имели класс точности 2.5 (максимально допустимый уровень погрешности этих приборов 2,5%). Позже был введен новый стандарт точности приборов учета 2,0 для бытового сектора, что и стало весомой причиной к повсеместной замене индукционных счетчиков на более точные с классом точности 2,0.

Рассмотрим более подробно устройство обоих видов электросчетчиков.

1.2 Однофазный индукционный счетчик электрической энергии

Для расчёта электрической энергии, потребляемой за определённое время, нужно интегрировать во времени мгновенные значения активной мощности. Для синусоидального сигнала мощность вычисляется, как произведение напряжения на ток в сети в данный момент времени. По этому принципу функционирует любой электросчетчик. На рисунке 1.1 показана функциональная схема электромеханического счётчика [3].

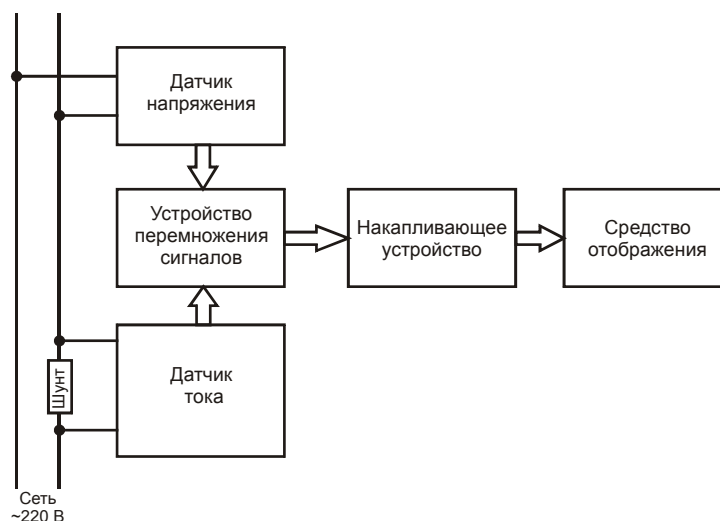


Рисунок 1.1 – Функциональная схема электромеханического счетчика.

Счетчик – это измерительная ваттметровая система. Он является интегрирующим (суммирующим) электроизмерительным прибором. Принцип действия индукционных приборов состоит во взаимодействии переменных магнитных потоков с токами, индуктированными ими в подвижной части прибора (в диске). Электромеханические силы взаимодействия вызывают движение подвижной части.

Вращающий момент, пропорциональный мощности сети, приводит диск счетчика во вращение, частота вращения которого устанавливается, когда вращающий момент уравновешивается тормозным моментом. Для создания тормозного момента в счетчике имеется постоянный магнит, который своими полюсами охватывает диск. Силовые линии магнитного поля, пересекая диск, наводят в нем дополнительную ЭДС, пропорциональную частоте вращения диска.

Дополнительная ЭДС, в свою очередь, вызывает протекание в диске вихревого тока, взаимодействие которого с потоком постоянного магнита приводит к возникновению электромеханической силы, направленной против движения диска, т.е. приводит к созданию тормозного момента.

Регулировку тормозного момента, а, следовательно, частоты вращения диска производят путем перемещения постоянного магнита в радиальном направлении. При приближении магнита к центру диска, частота вращения

уменьшается.

Таким образом, добившись постоянной частоты вращения диска счетчика, получаем, что измеряемое счетчиком количество энергии равно произведению числа оборотов диска счетчика и коэффициента пропорциональности (постоянной счетчика).

Итоги раздела представлены на рисунке 1.2.

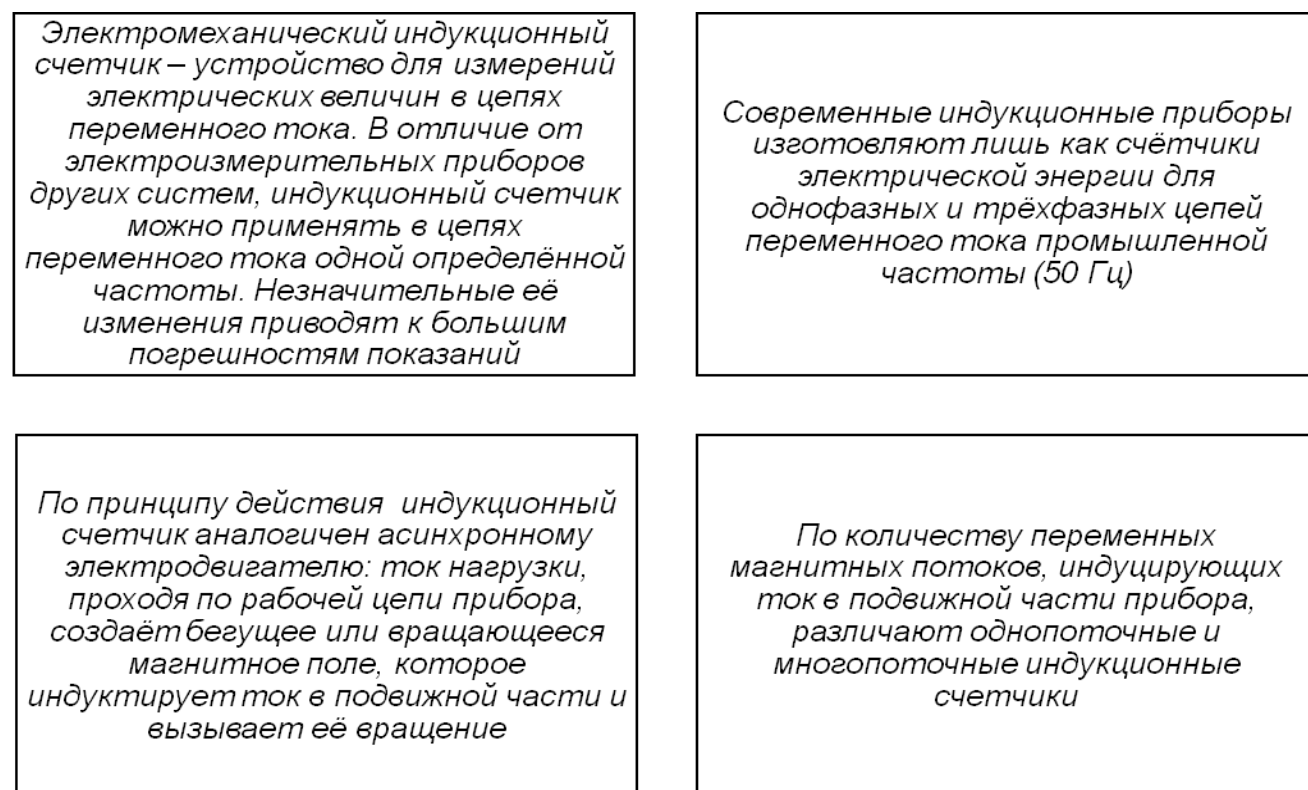


Рисунок 1.2 – Основные характеристики однофазных индукционных счетчиков.

Однофазные электромеханические индукционные счетчики в настоящее время выпускаются по ГОСТ 52321-2005, и соответствуют классам точности 2,0 и 1,0. Среди них ВЕКТОР-1, СЭТ1, Меркурий 201.5, СО-505 (МЗЭП), СО-ИБ (Саранский приборостроительный завод), СО-ЭЭ6706 (ЛЭМЗ) и т.д.

1.3 Электронные счетчики электрической энергии

Электромеханические счётчики индукционного типа, которые широко используются в сетях переменного тока, постепенно сменяют электронные (статические) счётчики, которые базируются на основе достижений микроэлектроники. Эти счётчики компактные, надёжные, могут обеспечить более высокую точность

измерений, а также имеют дополнительные функции. Основой этих счётчиков служат измерительные микросхемы, производимые такими фирмами как: Analog Devices, SAMES и др.

1.3.1 Электронные счётчики с частотным выходом и электромеханическим индикатором

Как правило, электронные счётчики применяются для измерения активной мощности и потребляемой электроэнергии, которая является интегралом от активной мощности. На рисунке 1.3 представлена схема такого счётчика, который может использоваться для однофазной цепи. За основу при описании взяты счётчики фирмы Analog Devices.

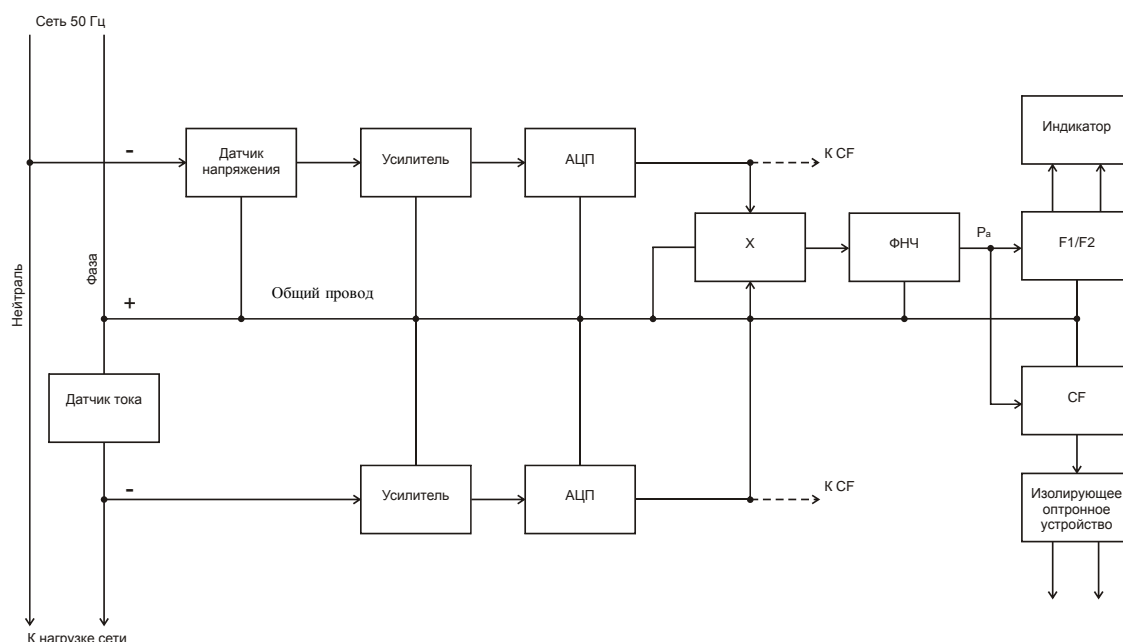


Рисунок 1.3 – Структурная схема счётчика электроэнергии с выходными преобразователями F1/F2 и CF.

В состав счётчика входят:

- а) датчики, которые измеряют напряжение сети и ток нагрузки;
- б) измерительная микросхема, которая осуществляет усиление и аналого-цифровое преобразование сигналов датчиков, а также их перемножение и фильтрацию уже в цифровом виде;
- в) устройства, которые обеспечивают последующее преобразование, индикацию и передачу данных.

Самыми простыми датчиками напряжения и тока являются прецизионные резистивные датчики, представляющие собой делитель напряжения (датчик напряжения) и токовый шунт (датчик тока). Делитель включается между двух проводов контролируемой цепи, а шунт подключается в цепь фазного провода (см. рисунок 1.3). Такое включение шунта понижает вероятность несанкционированного потребления электроэнергии мимо счётчика.

Выбор схемы включения зависит от того, какой из датчиков сколько потребляет. Как правило, потребление энергии датчиками, а также падение напряжения на датчике тока невелики, и поэтому их влияние можно не учитывать.

Между датчиками и входами усилителей ИС включаются специальные фильтрующие RC-цепи, которые обеспечивают низкочастотную фильтрацию, предшествующую аналого-цифровому преобразованию в ИС.

Микросхемы имеют обычно два входа для сигналов с датчиков напряжения U_U и тока U_I , эти входы являются дифференциальными. Входными устройствами служат усилители с программируемыми коэффициентами усиления. Далее следуют сигма-дельта АЦП, которые обеспечивают высокоточное аналого-цифровое преобразование сигналов.

Умножение полученных цифровых сигналов и фильтрация результатов умножения реализуются в цифровых устройствах - перемножителях "X" и ФНЧ. Цифровая обработка является залогом высокой точности производимых вычислений. Применение цифровой обработки - основная особенность современных счётчиков электроэнергии.

Счётчики можно разделить на две группы:

- а) счётчики с частотным выходом;
- б) счётчики с цифровым выходом.

Схема на рисунке 1.3 относится к ИС первой группы и имеет два вида выходных преобразователей – «F1/F2» и «CF».

F1/F2 - это преобразователь «цифра-частота». Цифровой сигнал с выхода фильтра низких частот преобразуется в две последовательности импульсов U_{F1} и U_{F2} , показанные на рисунке 1.4.

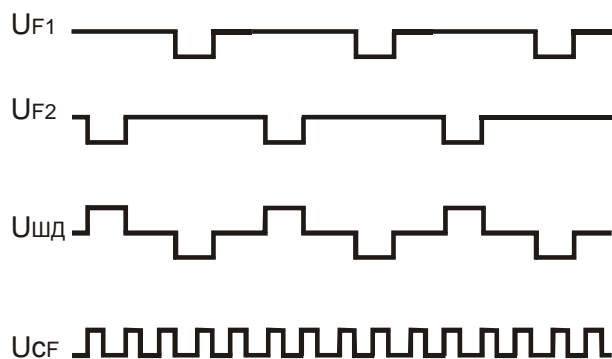


Рисунок 1.4 – Выходные импульсы U_{F1} и U_{F2} , их разность $U_{шд}$ и импульсы CF.

Частота следования импульсов пропорциональна потребляемой мощности P_a . Длительность импульсов для большинства ИС – 275 мс. Нагрузкой служит интегрирующий электромеханический индикатор («Индикатор» на рисунке 1.3), который содержит шаговый двигатель и механическое табло.

В качестве индикатора может быть применен, например, EM1PWD71R100, с семью десятичными разрядами. Младший из разрядов - с промежуточными делениями, каждое из которых соответствует одному периоду следования импульсов, питающих шаговый двигатель.

Импульсы - знакопеременные, показанные на рисунке 1.4 как напряжение $U_{шд}$. Они определяются как разность последовательностей F1 и F2 микросхемы, к которой подключен индикатор. Выходной ток F1 (F2) в импульсе равен входному току F2 (F1) в паузе. Таким образом, двухпроводный выход преобразователя «F1/F2» замыкается «на себя» через обмотку шагового двигателя.

Индикатор интегрирует отсчёты мощности, которой пропорциональна частота следования импульсов, питающих двигатель. В итоге, показания индикатора соответствуют Вт·ч потребляемой электроэнергии. Также счётчик имеет энергонезависимую память, таким образом, при отключении питания показания индикатора не скидываются. Обмотки шагового двигателя и его выводы изолированы, а сам индикатор помещен в общий корпус вместе с измерительной ИС.

Еще один выходной преобразователь «CF» (см. рисунок 1.3). Его импульсы, показанные на рисунке 1.4 как U_{CF} типа ЧИМ, положительной полярности и с более высокой частотой следования, чем у «F1/F2». В большинстве ИС длительность импульсов равна 90 мс. Частота следования импульсов CF, как и F1/F2,

пропорциональна не энергии, а мощности.

Преобразователь CF2, в общем случае, может быть использован не только для формирования сигнала, пропорционального мощности, но также и для получения сигналов, отображающих форму и величину напряжения сети и тока в нагрузке.

Импульсы CF - это выходной электрический сигнал, предназначенный для удаленной передачи данных и, в частности, для контроля ИС при дистанционной настройке (программировании). Сигнал CF поступает на выход счётчика через изолирующее оптронное устройство.

На рисунке 1.5 представлен внешний вид электронных счетчиков с частотным выходом и электромеханическим индикатором от разных производителей [6,7].



Рисунок 1.5 – Внешний вид электронных счетчиков с частотным выходом и электромеханическим индикатором.

1.3.2 Электронные счетчики с цифровым выходом и ЖК индикатором

Вторая группа ИС - с цифровым выходом и, кроме того, с дополнительными функциями, которые могут быть реализованы из-за более широкого применения методов цифрового преобразования.

Реализация такого цифрового счётчика электроэнергии (рисунок 1.6) нуждается в специализированных ИС, которые способны совершать перемножение сигналов и представлять полученную величину в удобной для МК форме [2,7].

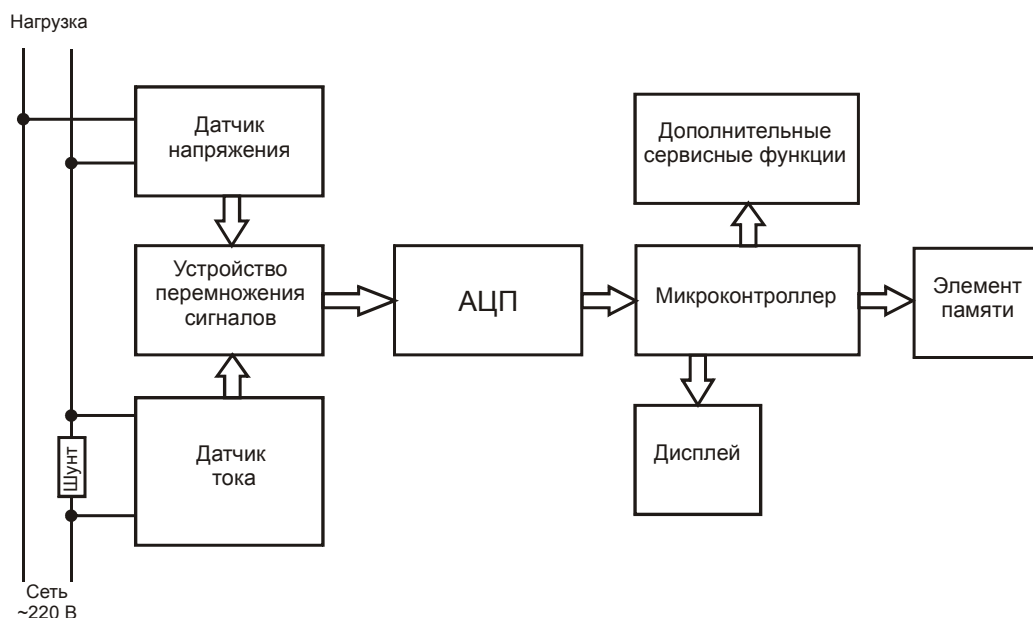


Рисунок 1.6 – Функциональная схема электронного счетчика.

Например, преобразовывать активную мощность в частоту следования импульсов. Общее количество пришедших импульсов, подсчитываемое микроконтроллером, прямо пропорционально потребляемой электроэнергии.

Значительную роль играют различные сервисные функции: дистанционный доступ к счётчику, доступ к информации о накопленной энергии и многие другие. Присутствие цифрового дисплея, которым управляет микроконтроллер, дает возможность программно устанавливать разные режимы вывода информации. Например, вывод на дисплей информации о потреблённой энергии за каждый месяц, по различным тарифам и так далее.

В ИС второго типа применяются выходные данные АЦП каналов измерения напряжения и тока, а также других цифровых устройств - перемножителя и ФНЧ, аналогичных имеющимся в ИС первого типа. Помимо этого, в ИС второго типа дополнительно вычисляется энергия, причём в некоторых ИС не только активная, но и реактивная и полная. Измеряются эффективные значения напряжения сети и тока нагрузки, а также берутся отсчёты их мгновенных значений.

В ИС второго типа дополнительно содержатся:

- а) блок регистров (в нем реализовываются вычислительные операции);
- б) последовательный интерфейс для передачи измеряемых и вычисляемых данных, а также управление ИС, например, программирование.

Данные измеряемой энергии поступают, как правило, на жидкокристаллический индикатор (например, типа OEL-7678), который используется совместно с микроконтроллером в составе счётчика. В микроконтроллере выполняются операции вычисления и преобразования, в том числе, при необходимости, интегрирование данных измеряемой мощности.

Микроконтроллер должен быть обеспечен энергонезависимой, внутренней или внешней памятью. К таким микроконтроллерам (с флэш-памятью) относятся, например, MSP430F4xx фирмы Texas Instruments и MC68HC908xx фирмы Motorola. Микроконтроллеры могут быть использованы для многотарифных расчётов, зависящих от времени суток или других условий. Выходные данные от микросхем могут дистанционно сниматься в центрах учёта и обработки информации.

Примеры внешнего вида электронных счётчиков с цифровым выходом и жидкокристаллическим индикатором представлены на рисунке 1.7.



Рисунок 1.7 – Внешний вид электронных счётчиков с цифровым выходом и жидкокристаллическим индикатором.

1.4 Датчики тока и напряжения, используемые в электросчётчиках

В зависимости от принципа работы датчики тока и напряжения для счётчиков электрической энергии подразделяются на резистивные и трансформаторные [4]. Сравнительные характеристики этих видов датчиков приведены в таблице 1.1.

Резистивные датчики содержат в своем составе резистивный элемент, включаемый в измеряемую цепь. Датчики в основе которых присутствует токо-

вый трансформатор, могут измерять только переменные токи и имеют малый частотный диапазон. Тем не менее, преимуществами токовых трансформаторов являются отсутствие вносимых потерь, напряжения смещения и необходимости использования внешнего источника питания. Рассмотрим эти датчики более подробно.

Таблица 1.1 – Сравнительные характеристики разных видов датчиков

Параметры датчиков	Резистивные датчики	Токовые трансформаторы
Точность	хорошая	средняя
Точность при темп. нестабильности	хорошая	хорошая
Стоимость	низкая	средняя
Изоляция	нет	есть
Сдвиг (DC)	есть	нет
Насыщение/гистерезис	нет	есть
Потребляемая мощность	высокая	низкая
Подключение к источнику измерений	есть	бесконтактное
АС/DC измерения	есть	только АС

1.4.1 Резистивные датчики

Наиболее простыми датчиками напряжения и тока являются прецизионные резистивные датчики. Соответственно это делитель напряжения для измерения текущего напряжения и токовый шунт для измерения текущего тока.

Делитель напряжения рассчитывают таким образом, чтобы напряжение на его выходе составляло величину, рекомендованную для конкретной микросхемы счетчика, и не превосходило при крайнем значении входного напряжения максимально допустимое измеряемое напряжение (обычно ± 400 мВ или ± 500 мВ).

Делитель включается между двумя проводами контролируемой цепи (ноль и фаза). Эффективное значение контролируемого напряжения соответственно равно $400\text{мВ}/1,732=231\text{мВ}$.

Токовый шунт включают в разрыв фазного провода. Основные достоинства резистивных датчиков тока – невысокая стоимость и безразличие к постоянной составляющей тока в измеряемой цепи. Однако выбор токового шунта требует компромисса, так как с одной стороны необходимо получить достаточное для измерения напряжение, т.е. сопротивление шунта должно быть достаточно высоким, а с другой стороны - сопротивление шунта должно быть мини-

мально возможным, для того чтобы исключить внешнее несанкционированное шунтирование (хищение электрической энергии) и влияние на измеряемую цепь.

Один из недостатков резистивных датчиков тока – паразитный нагрев за счет выделяемой на нем мощности. При сопротивлении шунта 400 мкОм и максимальном токе 50 А выделяемая паразитная мощность равна 1 Вт. В условиях затрудненного охлаждения это вызывает серьезный нагрев шунта и изменение его сопротивления, что сказывается на точности замеров, не говоря о том, что растет потребление энергии всем счетчиком в целом.

При использовании резистивных датчиков тока измерительная схема находится под высоким напряжением, что затрудняет экранирование и требует повышенных мер по защите от поражения электрическим током.

1.4.2 Трансформаторные датчики

Трансформаторные датчики сложнее, чем резистивные, но имеют над ними некоторые преимущества. Они более экономны по потреблению от источника сигнала, а трансформаторы тока, кроме того, по сравнению с шунтами, работают при меньших падениях напряжения на входе. Они также обеспечивают негальваническую магнитную связь между обмотками. Внешний вид трансформаторного датчика тока приведен на рисунке 1.8.



Рисунок 1.8 – Внешний вид трансформаторного датчика тока.

В качестве датчика напряжения применяется понижающий трансформатор напряжения в режиме холостого хода. Работая в этом режиме, трансформатор теоретически не потребляет энергию. В качестве датчика тока используются трансформаторные датчики двух типов (рисунок 1.9).

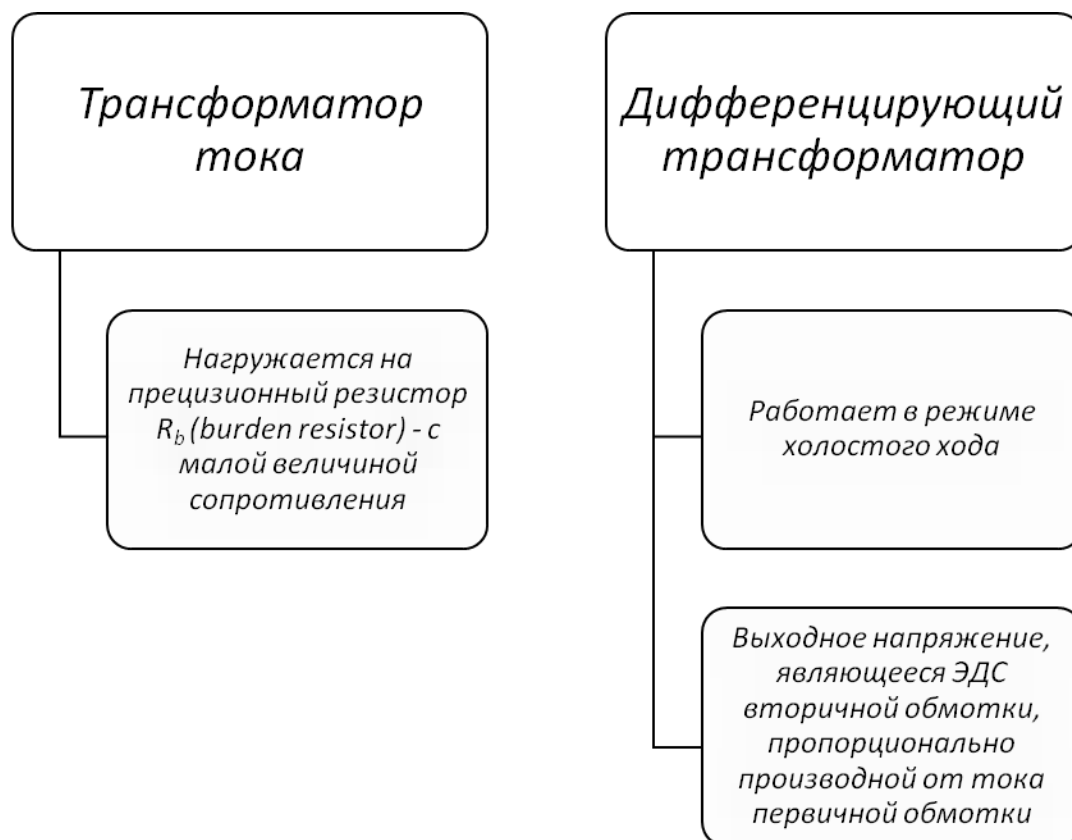


Рисунок 1.9 – Типы трансформаторных датчиков.

Идеальным режимом работы измерительного трансформатора тока является режим короткого замыкания его вторичной цепи, при котором по вторичной цепи протекает индуцированный ток, создающий в магнитопроводе вторичный поток магнитной индукции, компенсирующий поток магнитной индукции от тока первичной цепи. В результате в сердечнике, в стационарном режиме, устанавливается близкий к нулю суммарный поток магнитной индукции, индуцирующий во вторичной обмотке небольшую ЭДС, поддерживающую ток во вторичной цепи пропорционально значению тока первичной цепи.

Погрешности трансформаторного датчика тока складываются из токовой погрешности (погрешность коэффициента трансформации) и угловой погрешности (разность фаз между токами первичной и вторичной цепи). Погрешности определяются двумя факторами: ограниченной магнитной проницаемостью магнитопровода и ненулевым значением сопротивления нагрузки.

В качестве сердечников трансформаторных датчиков тока используются нанокристаллические или аморфные сплавы. Нанокристаллические сплавы ха-

рактически постоянной высокой магнитной проницаемостью в слабых полях (до 0,1 А/м) составляющей в среднем $(4-6) \cdot 10^4$ А/м (для электротехнической стали всего 400). Кроме того, эти сплавы обладают высокой остаточной магнитной индукцией и низкой коэрцитивной силой.

Сейчас в качестве датчика тока часто используются дифференцирующие трансформаторы без магнитного сердечника. Отсутствие сердечника упрощает конструкцию трансформатора и обеспечивает линейность его амплитудной характеристики, а также исключает явление замагничивания постоянным током, но требует введения интегратора в состав измерительной ИС.

Трансформаторы имеют вид тороидальной катушки. В трансформаторе тока имеется магнитный сердечник.

Проведенный анализ показал, что в настоящее время для реализации счетчика резистивные датчики являются наиболее приемлемыми. Это обусловлено их более низкой стоимостью и более высокой точностью измерения по сравнению с трансформаторными датчиками.

1.5 Технологии передачи данных по линиям электропитания

В наше время наблюдается повышение интереса к средствам передачи данных по линиям электропитания. Системы управления и мониторинга в промышленности, энергетике, быту и в других областях становятся все более интеллектуальными и распределенными. Также существенное развитие получают новые виды информационного обмена - средства домашней автоматике, сети малых и домашних офисов (SOHO), распределенные системы охранной и другой сигнализаций. Всем им нужна развитая инфраструктура средств связи. При этом важнейшую роль играет экономический фактор: средства информационного обмена, являясь «инструментом» коммуникаций, должны быть недорогими и везде доступными.

По причине низкой инфраструктуры российской проводной связи - обширная распространенность электрических сетей, отсутствие необходимости проведения дорогостоящих работ, которые связаны с созданием траншей и колодцев, пробивкой стен и прокладкой кабелей, а также возможность формирова-

ния симметричных каналов связи стимулируют высокий интерес к электрическим сетям как среде передачи данных.

Организация связи по линиям электропитания сталкивается со следующими сложностями (рисунок 1.10).

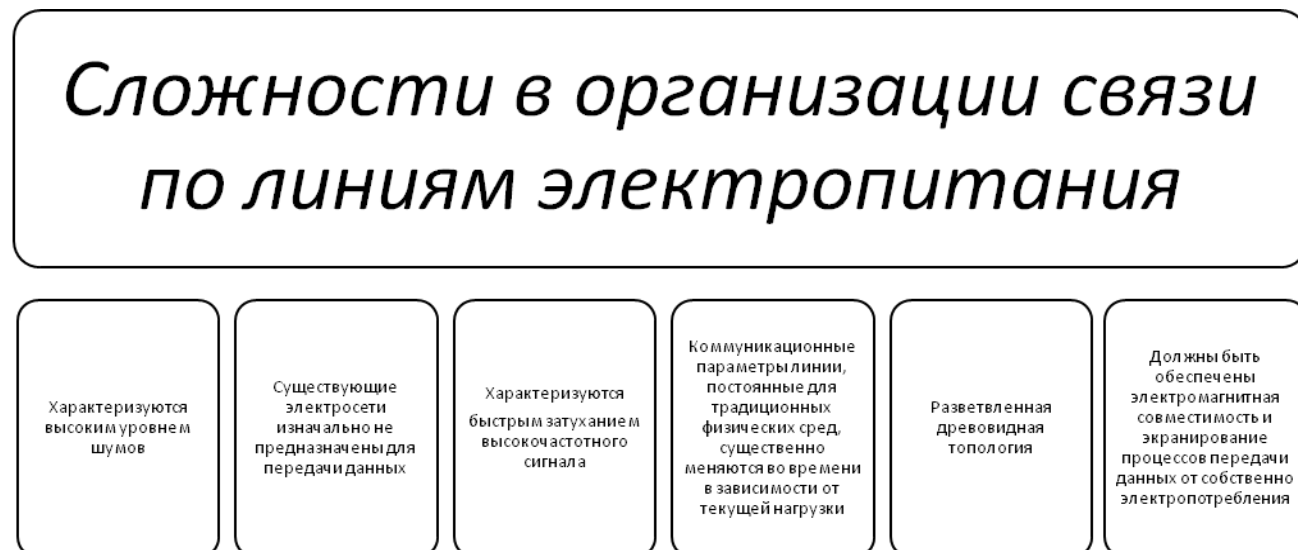


Рисунок 1.10 – Основные сложности в организации связи по линиям электропитания.

1.5.1 Основные области применения средств связи на основе электрических сетей

Важнейшие области применения средств связи на основе электрических сетей показаны на рисунке 1.11.

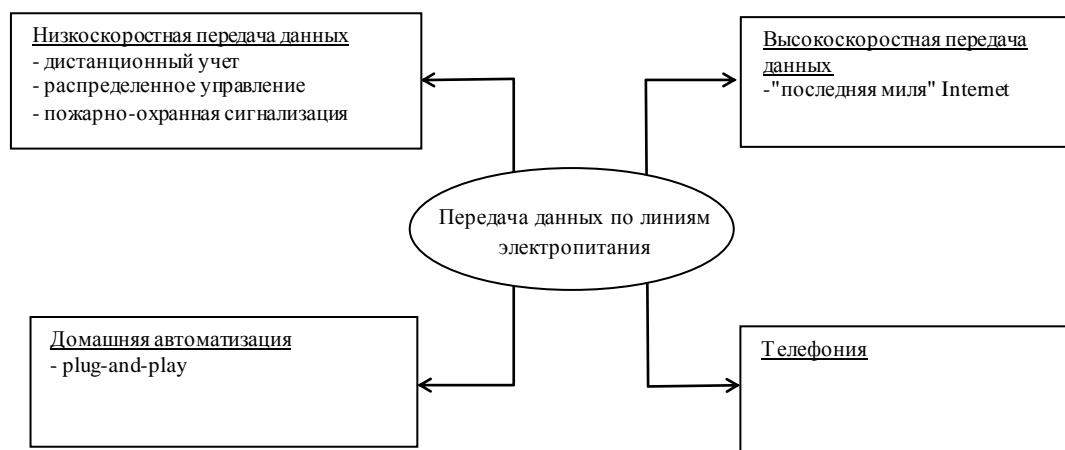


Рисунок 1.11 - Применение средств связи на основе электрических сетей.

Каждый класс имеет специфические требования к скорости и дальности передачи, методу доступа и другим показателям, определяющим качество передачи.

К низкоскоростным распределенным системам управления и учета можно отнести системы автоматического управления в цехах и на производственных территориях, системы жизнеобеспечения зданий (лифты, кондиционеры, вентиляция), складские системы, средства учета энергопотребления, системы охранной и пожарной сигнализации и т.д.

Другая область применения - системы домашней автоматики, которые позволяют комплексно управлять бытовыми приборами. Сюда же относятся локальные сети для домашних и малых офисов, развернутые в пределах небольшого здания или отдельной квартиры.

Большой интерес представляют примеры удачного применения электрических сетей для реализации телефонной связи в сельской местности и на ограниченных территориях, а также, для организации высокоскоростного Internet доступа. Развитие этой области может не только поменять расстановку сил на рынке Internet-провайдеров, но и пробудить к жизни новые принципы проектирования силовых электрических сетей и их оптимальной структуризации, учитывающей энергетические и коммуникационные требования.

1.5.2 Архитектура информационного взаимодействия на основе электросетей

Архитектура информационного взаимодействия на основе электросетей, имеющая иерархическую структуру, в обобщенном виде представлена на рисунке 1.12. Даже в рамках одной прикладной области конкретные ее реализации отличаются методами надежной доставки данных на различных уровнях иерархии.

Прикладной уровень
Сетевой уровень
Канальный уровень
Управление линиями связи Управление доступом к среде
Физический уровень

Рисунок 1.12 - Архитектура информационного взаимодействия на основе электросетей, имеющая иерархическую структуру.

Увеличение надежности передачи на физическом уровне обусловлено выбором способа модуляции и частотного диапазона, а также использования мето-

дов цифровой обработки сигналов и адаптивного управления. Наиболее перспективными являются алгоритмы широкополосной (SS-Spread Spectrum) модуляции, которые существенно повышают помехоустойчивость передачи.

Применение SS-модуляции приводит к тому, что мощность сигнала распределяется в широкой полосе частот, и он делается незаметным на фоне помех. На принимающей стороне значимая информация выделяется из шумоподобного сигнала с помощью уникальной для данного сигнала псевдослучайной кодовой последовательности.

С помощью различных кодов можно осуществить передачу сразу нескольких сообщений в одной широкой полосе частот. Данный принцип лежит в основе метода множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA).

Основные способы увеличения надежности передачи на канальном уровне представлены на рисунке 1.13.



Рисунок 1.13 - Основные способы увеличения надежности передачи на канальном уровне.

Короткие пакеты дают возможность увеличить не только вероятность до-

стоверной передачи пакетов данных, но и эффективность адаптации передающей стороны к быстро меняющимся характеристикам сети. При использовании широкополосной модуляции это выражается в оптимальном перераспределении мощности сигнала в полосе частот с учетом фактического спектра помех.

1.5.3 Базовые компоненты коммуникационного узла «электрической сети связи»

Типовая функциональная схема и основные компоненты коммуникационного узла «электрической сети связи» представлены на рисунке 1.14.



Рисунок 1.14 - Блок-схема коммуникационного узла.

Основа коммуникационного узла - контроллеры сетевого, канального и физического уровней; последние также называют «приемопередатчики» или «трансиверы». Обычно эти компоненты строятся на базе универсальных или специализированных микропроцессоров и выпускаются в виде наборов микросхем.

Изолирующий (соединительный) модуль в общем случае осуществляет две функции:

- а) изоляция аппаратуры коммуникационного узла от напряжения питания;
- б) выделение информационного сигнала из силового напряжения.

Как правило, этот модуль выполнен на отдельных радиоэлектронных компонентах.

Электромодем со стандартным или заказным интерфейсом пользователя может быть выполнен на основе специальных микросхем усилителей мощности, позволяющие передавать сигнал на большие расстояния.

1.5.4 Технологии и продукты передачи данных по электрическим се-

ТЯМ

Диаграмма передачи сигналов по сети 220 В показана на рисунке 1.16.

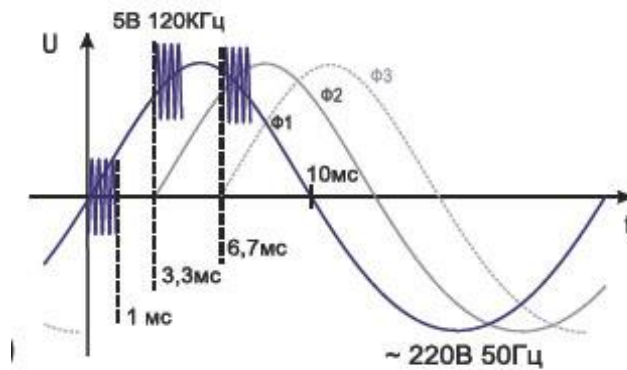


Рисунок 1.15 - Передача сигналов управления по сети 220 В.

Двоичной "1" соответствует передача частоты 120 кГц в течение 1 мс, а двоичному "0" - отсутствие радиоимпульса. В целях уменьшения ошибок для передачи одного бита используются два перехода через ноль. Поэтому скорость передачи ограничена величиной 60 бит/с (для сети 120 В, 60 Гц).

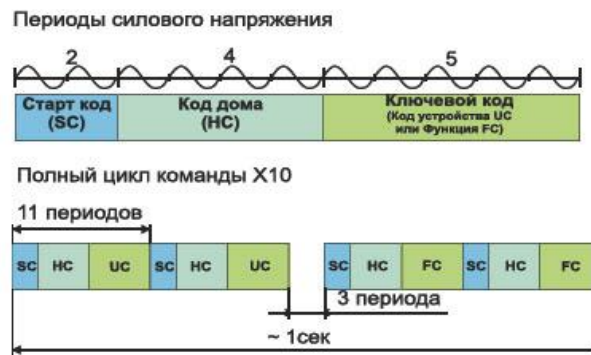


Рисунок 1.16 – Структура сигналов управления.

Основными недостатками системы на базе X-10 являются низкая скорость передачи и функциональная ограниченность.

Микросхемы трансиверов и модемы для линий электропитания выпускаются и другими компаниями. Основные параметры продуктов, доступных в настоящее время, приведены в [11].

Наиболее распространенные технологии передачи данных по электрическим сетям 120/220 В представлены на рисунке.1.17.

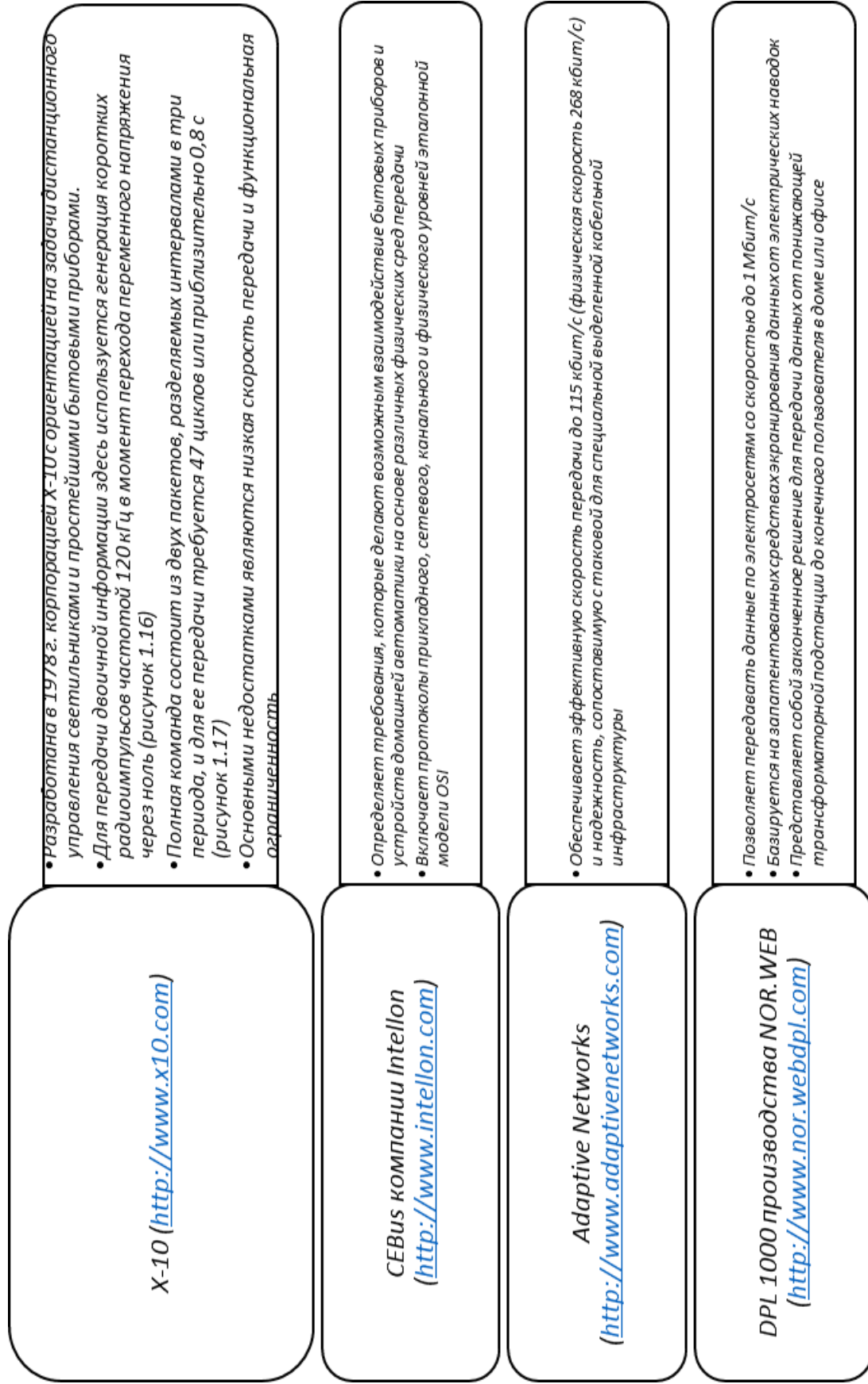


Рисунок 1.17 - Технологии передачи данных по электрическим сетям 120/220 В.

Проведенный сравнительный анализ технологий управления и передачи данных по линиям электропитания показал высокую заинтересованность разработчиков и производителей в этих технологиях. Однако отсутствие единого стандарта является существенным тормозом для их широкого внедрения и, как следствие, высокой стоимости оборудования и программного обеспечения.

Исходя из назначения разрабатываемого управляющего микроконтроллера однофазного электросчетчика наиболее подходящей является технология X-10, обеспечивающая достаточную скорость передачи данных, помехоустойчивость и функциональную гибкость.

2 Расчетная часть. Проектирование управляющего микроконтроллера однофазного счетчика электрической энергии

Как было показано в первом разделе записки, современный электрический счетчик представляет собой аналого-цифровое устройство с предварительным преобразованием мощности в аналоговый сигнал с последующим преобразованием аналогового сигнала в частоту следования импульсов, суммирование которых дает количество потребляемой энергии.

В настоящее время для рынка бытовых однофазных электросчетчиков характерен очень низкий уровень цен. Стоит кому-либо из производителей задуматься о конструктивных изменениях, повышающих качество, как тотчас он вступает в конфликт с чисто рыночной задачей - задачей снижения себестоимости счетчика. Большинство моделей электросчетчиков, присутствующих на рынке, можно оценить как «критические», т.е. в этих моделях выбраны все резервы снижения цены, дальнейшее удешевление возможно только за счет потери качества.

Одним из основных направлений разработки более совершенных электросчетчиков является использование специализированных интегральных микросхем, объединяющих в себе практически все основные узлы электронного счетчика электрической энергии. По этому пути и будем проводить разработку электросчетчика, соответствующего требованиям технического задания.

2.1 Разработка структурной схемы однофазного электросчетчика

Первые разработки счетчиков электрической энергии предусматривали вычисление потребляемой мощности переменного тока W как среднее значение произведения мгновенных значений напряжения $u(t)$ и тока $i(t)$ за период сигнала T [9], т.е.

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt. \quad (2.1)$$

В аналоговых устройствах эта математическая операция выполняется по-разному (термо э.д.с., эффект Холла, оптоэлектроника и пр.).

Значения напряжения и тока после выпрямителей среднеквадратических

значений с помощью АЦП преобразуются в цифровой код. Основными достоинствами выпрямителей среднеквадратических значений являются независимость результата преобразования от формы сигнала и выполнение операции интегрирования в процессе преобразования (выпрямления). Используемый в таких устройствах микроконтроллер обеспечивает общее управление схемой устройства, выводит результаты измерений на ЖК индикатор и сохраняет данные в энергонезависимой памяти EEPROM.

Структурная схема электросчетчика со среднеквадратическими выпрямителями приведена на рисунке 2.1.

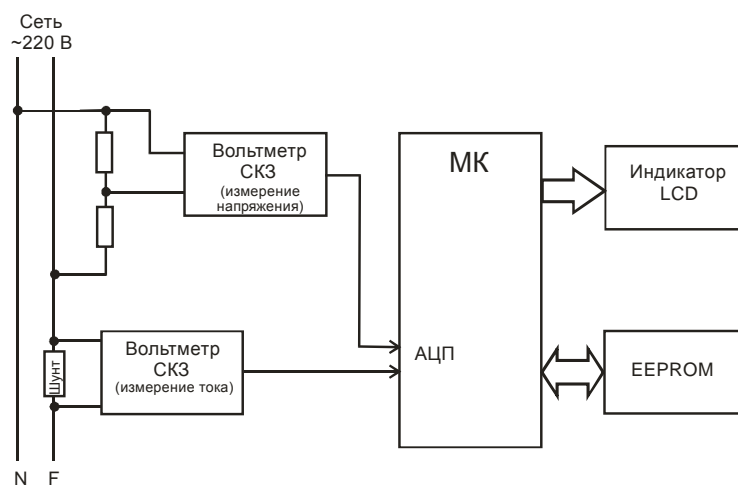


Рисунок 2.1 - Структурная схема электросчетчика с выпрямителями СКЗ.

Следует отметить, что в некоторых вариантах реализации этого подхода вместо выпрямителей используются интегральные преобразователи «напряжение-ток». В этом случае интегрирующие функции выполняют счетчики микроконтроллера.

В настоящее время в цифровых электросчетчиках используется другой подход. Устройства выполняют несколько другую математическую операцию:

$$P = \frac{1}{n} \sum_{r} U_r I_r, \quad (2.2)$$

где:

n - количество выборок (дискрет) за период сигнала T ;

U_r и I_r – дискретные значения напряжения и тока, соответствующие одно-

му и тому же моменту времени (отсчету).

Значение P точно определяет мощность сигнала W , если взято бесконечное число выборок. В этом случае уравнение (2.1) приближается к (2.2). Однако на практике число выборок всегда конечно, поэтому всегда присутствует связанная с этим погрешность измерения.

Как показано в литературе [9], погрешность измерения мощности сигналов напряжения $u(t)=U \cdot \sin(\omega t + \alpha)$ и тока $i(t)=I \cdot \sin(\omega t + \alpha + \beta)$ равна:

$$\Delta = \left(\frac{U \cdot I}{2n} \right) \frac{\sin \delta}{\sin \frac{2\pi m + \delta}{n}} \cos \left[\frac{(n-1)(2\pi m + \delta)}{n} + 2\alpha + \beta \right], \quad (2.3)$$

где:

U и I – амплитудные значения сигналов;

α и β – фазовые сдвиги этих сигналов;

ω – круговая частота сигналов;

n – число выборок за период сигнала T ;

m – число периодов сигнала при измерениях.

Из уравнения видно, что погрешность измерения уменьшается при увеличении выборок n и становится равной нулю, если количество отсчетов (выборок) будет равно бесконечности.

Также из уравнения (2.3) видно, что погрешность будет нулевой, если параметры синхронной дискретизации m и n подобрать таким образом, что отношение m/n будет нецелым [9].

На этом принципе строится большинство современных ваттметров и счетчиков электроэнергии. При достаточно высоком быстродействии АЦП погрешность измерений достаточно мала (0,15% и менее) и из схемы счетчика исключаются среднеквадратические выпрямители или преобразователи «ток-напряжение». Схема электросчетчика (ваттметра) с быстродействующими АЦП приведена на рисунке 2.2 [9].

Перед дискретизацией сигналы напряжения и тока, как правило, предварительно преобразовываются. Например, усиливаются (канал тока) или ослабляются (канал напряжения). После дискретизации значения выборок оцифровываются

с помощью быстродействующих АЦП.

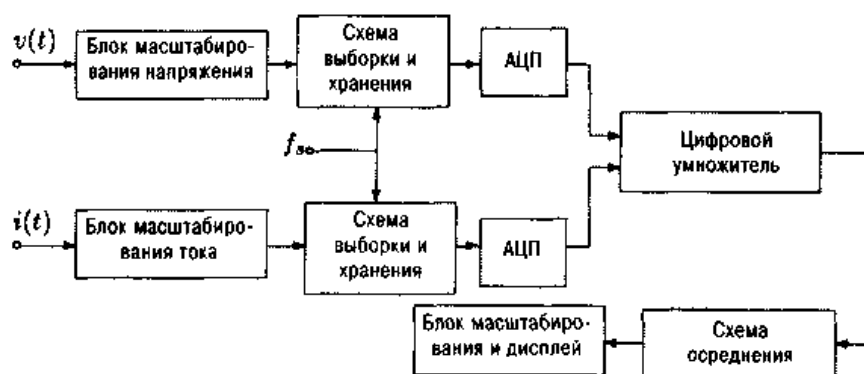


Рисунок 2.2 –Схема электросчетчика с быстродействующими АЦП.

Цифровые сигналы АЦП попарно перемножаются и усредняются по блокам из m сочетаний по n пар. Так как на входе применялась операция масштабирования уровней тока и напряжения, то перед выводом результатов на ЖК индикатор, необходимо иметь соответствующий блок масштабирования выходных значений. Операции перемножения, усреднения и масштабирования выполняет микроконтроллер устройства.

Проведенные рассуждения касались в основном цифровых измерителей активной мощности переменного тока. Однако если сравнить формулу для вычисления величины электрической энергии

$$E = \frac{mT}{n} \sum_{r=1}^n U_r I_r \quad (2.4)$$

с формулой для вычисления электрической мощности (2.2), то можно увидеть, что при измерении электрической энергии масштабирующий коэффициент определяется не количеством выборок, а частотой дискретизации n/mT . Таким образом, для определения количества энергии подходит структурная схема на рисунке 2.2, в которой изменен коэффициент масштабирования выходного сигнала.

Исходя из приведенных материалов, можно сделать вывод, что структурная схема однофазного электросчетчика, приведенная на рисунке 2.2, подходит для решения поставленной задачи. В процессе дальнейшей работы необходимо решить вопросы, связанные с организацией интерфейса Ethernet и внутрис-

хемного программирования (ISP) управляющего микроконтроллера электросчетчика. Также необходимо выбрать элементную базу, обеспечивающую максимально возможную степень аппаратурной реализации всех алгоритмов работы и интерфейсов обмена данными, используемых в электросчетчике.

Широкое применение специализированных микросхем и исключение процедур программирования и инсталляции электросчетчика позволит значительно снизить себестоимость разработанного электросчетчика.

2.2 Описание функциональной схемы разработанного устройства

Функциональная схема разработанного управляющего микроконтроллера счетчика электрической энергии приведена на рисунке 2.3.

Приведенная схема представляет собой практическую реализацию структурной схемы, приведенной на рисунке 2.2.

Как показал обзор, проведенный по информационным ресурсам Интернет, в настоящее время специализированные микросхемы (контроллеры) для цифровых электросчетчиков выпускаются многими фирмами-производителями. Продукция наиболее известных производителей приведена в приложении А.

Правильный выбор управляющего микроконтроллера (МК) позволит минимизировать электрическую схему устройства и сократить затраты на его производство.

Оценка функциональных возможностей и стоимости устройств, приведенных в приложении А, показал, что одним из наиболее подходящих для решения поставленной задачи является микроконтроллер MSP430FE427 фирмы Texas Instruments. Этот МК предназначен для использования в однофазных многотарифных электросчетчиках. Несмотря на свою относительно низкую стоимость, он способен измерять активную, реактивную и полную мощности, коэффициент мощности и частоту переменного напряжения, обеспечивает защиту от воровства электроэнергии. Погрешность МК составляет 0.1%, что в 15 раз лучше требований технического задания.

Host компьютер системы
автоматизированного учета

Управляющий микроконтроллер электросчетчика

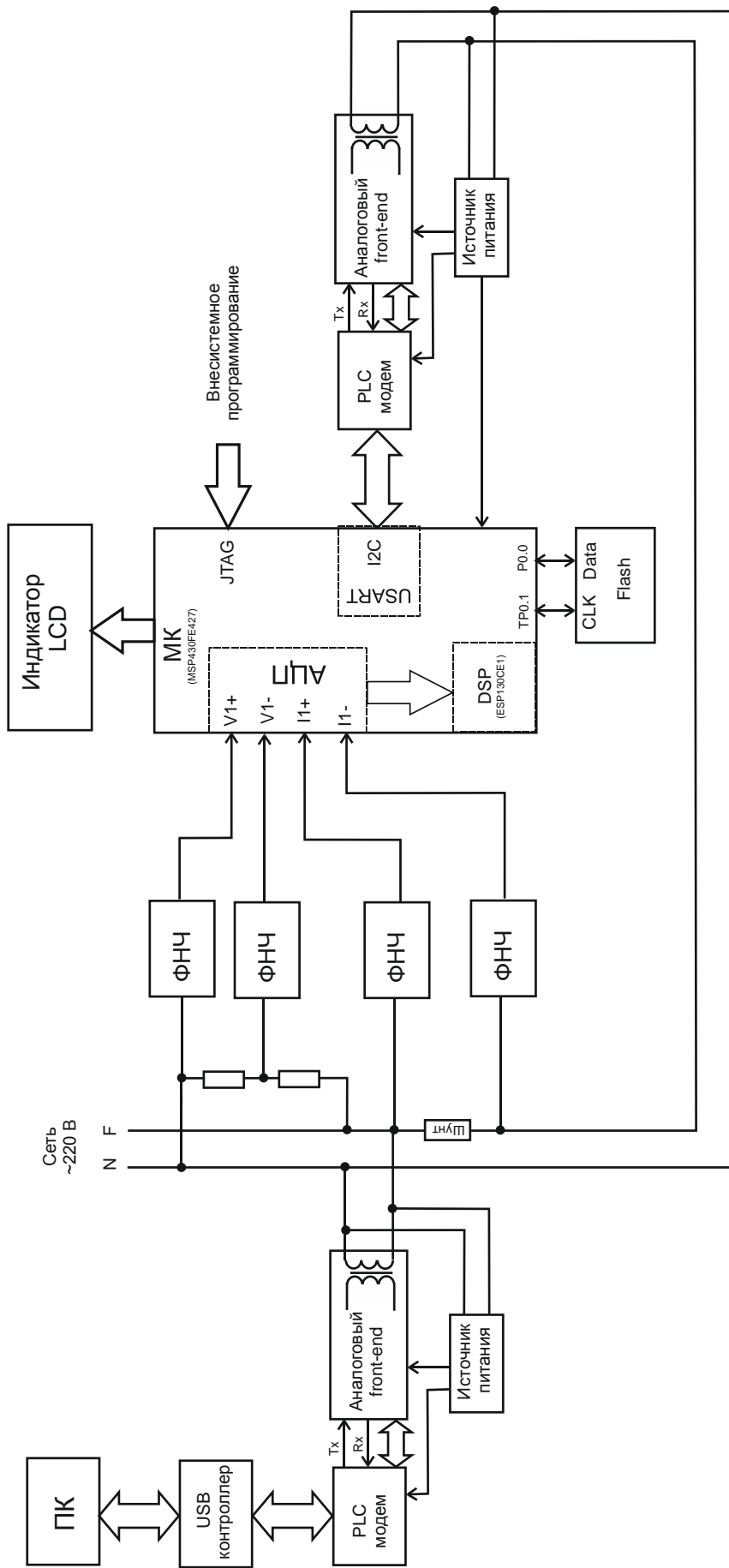


Рисунок 2.3 - Функциональная схема управляющего микроконтроллера счетчика электрической энергии.

Микроконтроллеры семейства MSP430FE42x со встроенным сигнальным процессором DSP (ESP430CE1) для однофазного счетчика электроэнергии со встроенным аналоговым входным терминалом и температурным датчиком были разработаны специально для использования в устройствах измерения потребляемой мощности.

Сигнальный процессор ESP430CE1 выполняет большинство действий по измерению потребления электроэнергии автоматически, не используя ресурсы вычислительного ядра. Это позволяет сохранить ресурсы вычислительного ядра для использования их в других задачах, например, для осуществления связи с другими устройствами.

Процессор ESP430CE1 может работать с различными токовыми датчиками. В качестве токового датчика он может использовать катушку Роговского, шунт, токовые трансформаторы (СТ), включая трансформаторы со связью по постоянному току и большим фазовым сдвигом, или катушки индуктивности. Все параметры могут быть настроены программно, а калибровочные константы могут быть сохранены во Flash памяти микроконтроллера MSP430 и переданы ESP430CE1 при инициализации системы.

Встроенный модуль последовательного интерфейса I2C микроконтроллера MSP430FE427 используется для передачи интерфейса передачи данных по локальной сети Ethernet 10BaseT. Для этой цели используется специализированный Ethernet контроллер, предназначенный для использования во встраиваемых системах нижнего уровня с применением Интернет - технологий.

Трансивер PHY обеспечивает физическое согласование линии передачи с Ethernet контроллером. Трансивер поддерживает стандарт сетей Ethernet 10BaseT, их автоопределение и содержит все необходимые узлы для выполнения операций скремблирования, кодирования и декодирования. Весь процесс обмена информации с Ethernet контроллером происходит на аппаратном уровне, без вмешательства разработчика. Совместная работа Ethernet контроллера и трансивера обеспечивает полную обработку сетевого трафика, начиная с формирования управляющего пакета и заканчивая выдачей сигналов в канал связи.

2.3 Обоснование выбора микроконтроллера MSP430FE42x

Микроконтроллеры семейства MSP430F42x являются весьма распространенными при реализации разнообразных устройств автоматизации и контроля. На них существует большое количество технических описаний и рекомендаций по использованию на русском языке. Имеются относительно недорогие устройства по программированию и отладке микроконтроллеров, а в Интернете бесплатно выложено программное обеспечение для работы с различными периферийными устройствами (ЖК индикаторами, внешней EEPROM, клавиатурой и пр.) и интерфейсами передачи данных [16-19].

Того же самого нельзя сказать о МК семейства MSP430FE42x, что очевидно это обусловлено узкой областью применения этих устройств. Они представляют интерес в основном для разработчиков и производителей счетчиков электрической энергии.

Однако сравнительный анализ архитектуры МК семейств MSP430F42x и MSP430FE42x показывает, что их отличие касается практически только одного встроенного модуля (рисунки 2.4 и 2.5). Модуль микроконтроллеров семейства MSP430F42x, содержащий три 16 разрядных сигма-дельта АЦП, заменен в MSP430FE42x на модуль сигнального DSP процессора ESP430CE1. Как было указано выше, этот специализированный процессор автономно обеспечивает все математические операции, связанные с вычислением количества потребляемой электрической энергии.

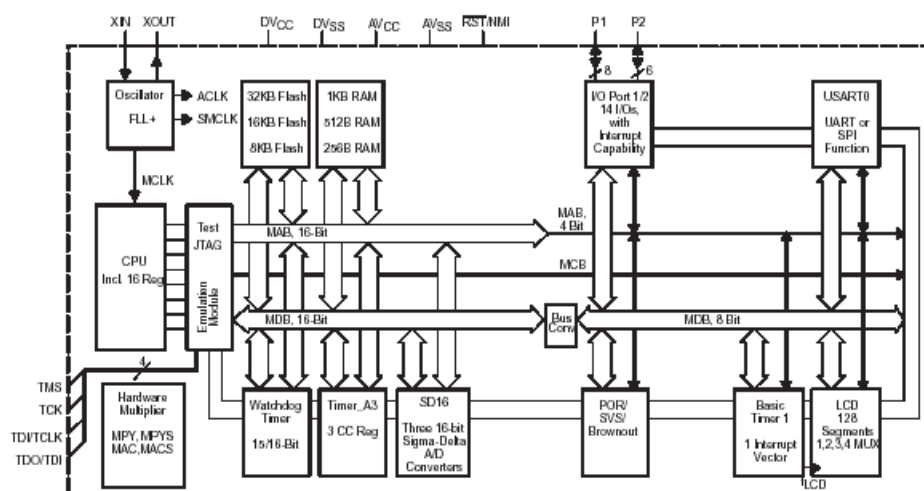


Рисунок 2.4 – Функциональная схема МК семейств MSP430F42x.

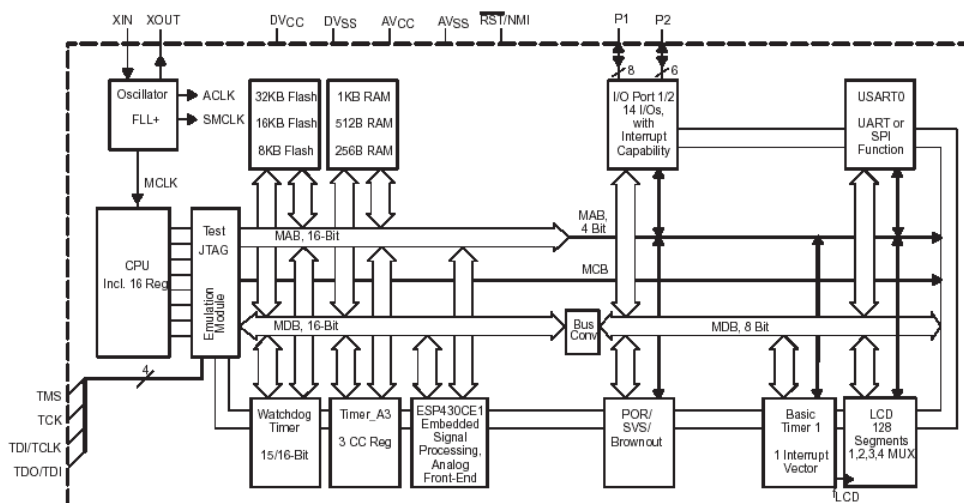


Рисунок 2.5 – Функциональная схема МК семейств MSP430FE42x.

Отличие является весьма незначительным, если учесть, что в состав DSP также входят три 16 разрядных сигма-дельта АЦП [19].

Учитывая вышесказанное, можно полагать, что практически вся доступная информация по МК MSP430F42x будет применима и к МК для электрических счетчиков MSP430FE42x.

Микроконтроллеры MSP430FE42x представляют собой 16 разрядные смешанно-сигнальные RISC микроконтроллеры, имеющие в своем составе, помимо прочих периферийных модулей, несколько прецизионных быстродействующих АЦП. Отличительные особенности MSP430FE42x представлены на рисунке 2.6.

В семейство MSP430FE42x входят:

- а) MSP430FE423: 8кб + 256 байт флэш-памяти, 256 байт ОЗУ;
- б) MSP430FE425: 16кб + 256 байт флэш-памяти, 512 байт ОЗУ;
- в) MSP430FE427: 32кб + 256 байт флэш-памяти, 1 кб ОЗУ.

Все микроконтроллеры выпускаются в 64-выводном QFP корпусе.

Микроконтроллеры MSP430FE42x разработаны для применения в системах с автономным питанием, т.к. имеют пять режимов пониженного потребления. 16-разрядная RISC архитектура, наличие 16-разрядных встроенных в ЦПУ регистров и стабильность генератора МК делают MSP430FE42x максимально эффективными. Генератор с цифровым управлением дает возможность быстрого выхода из экономичных режимов (не более 6 мкс).

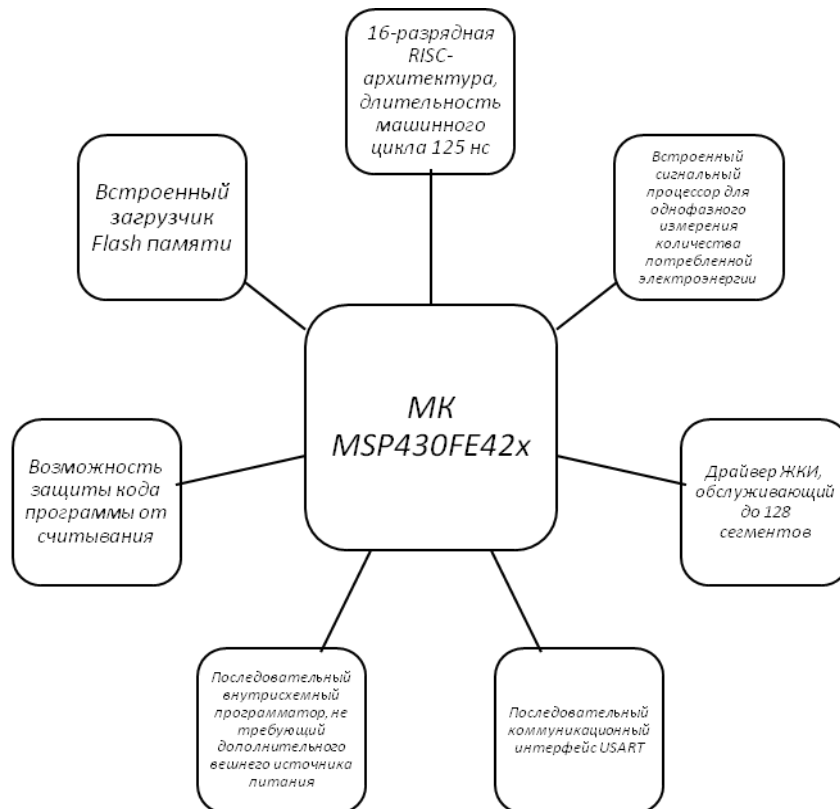


Рисунок 2.6 - Отличительные особенности микроконтроллера MSP430FE42x.

Основная область применения MSP430FE42x: измерители с высоким разрешением, например, переносные измерители, весы и электросчетчики.

Учитывая, что стоимость МК в зависимости от объема памяти меняется незначительно, в разработанной схеме электросчетчика был выбран вариант MSP430FE427.

Схема подключения MSP430FE427 к двухпроводной однофазной сети с использованием токового шунта приведена на рисунке 2.7.

Для изменения уровня потребляемого тока в схеме использован прецизионный шунт Rш.

Схема подключения MSP430FE427 к двухпроводной однофазной сети с использованием токового трансформатора СТ приведена на рисунке 2.8.

В обоих случаях в канале измерения напряжения использован делитель напряжения, рассчитанный на работу в сетях со среднеквадратическим значением напряжения 230 В.

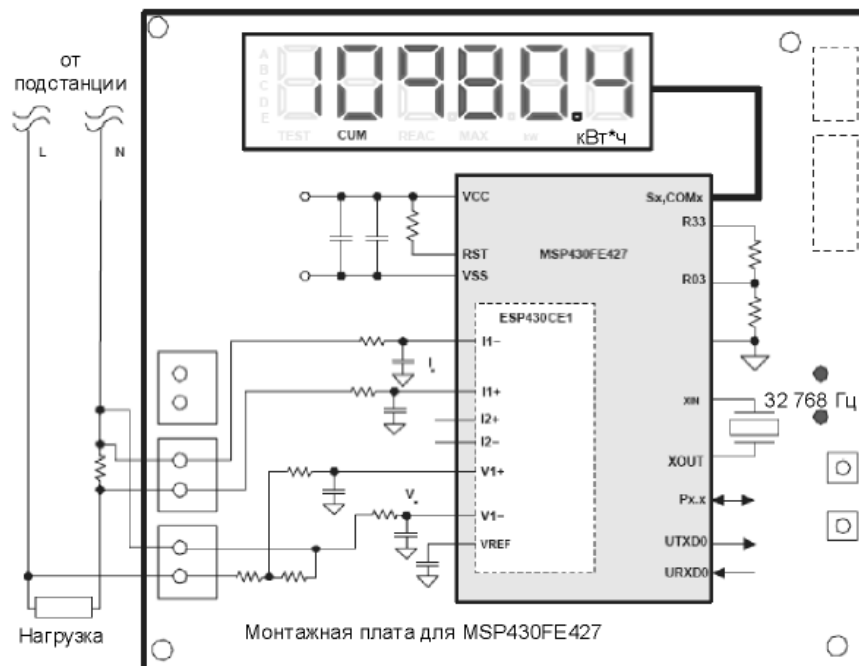


Рисунок 2.7 - Схема подключения MSP430FE427 к двухпроводной однофазной сети.

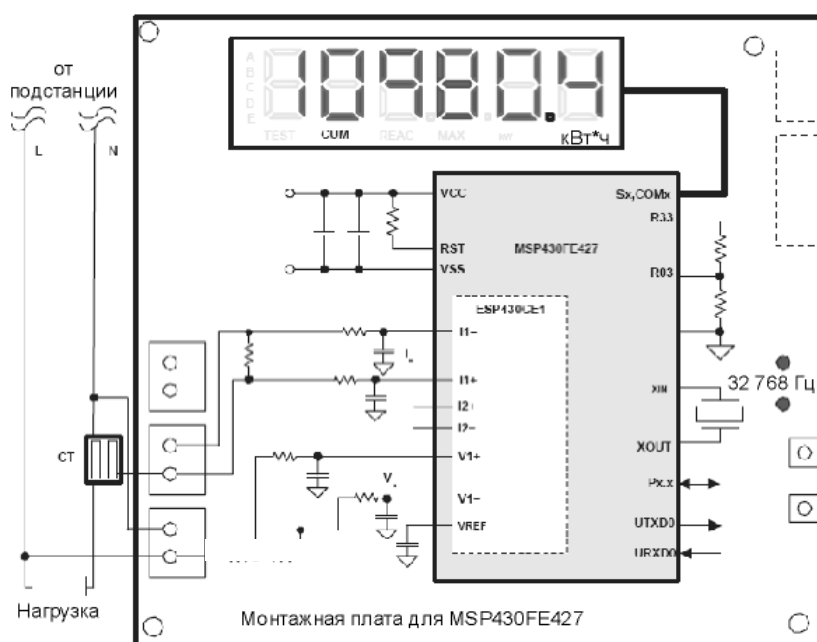


Рисунок 2.8 - Схема подключения MSP430FE427 к двухпроводной однофазной сети с использованием токового трансформатора.

В качестве сглаживающих фильтров производитель МК MSP430FE427 рекомендует использовать резистор номиналом 1 кОм, подключенный последовательно к входам «V1+» и «V1-» АЦП сигнального процессора и конденсатор номиналом 33 нФ, подключенный между входом преобразователя и землей. С це-

Для избежания влияния синфазных помех необходимо использование сглаживающих фильтров также в канале измерения тока (выводы «I1+» и «I1-»).

Неиспользуемые каналы АЦП не должны быть к чему-либо подключены, т.е. должны «висеть в воздухе».

Емкостной источник питания может обеспечить ток потребления до 4 мА. Необходимо, чтобы ток потребления не превышал этого допустимого значения. С этой целью в схеме используется светодиод с низким током свечения.

На рисунке 2.9 показан емкостной источник питания, который формирует напряжение $V_{cc} = +3$ В. Если его выходного тока недостаточно, то можно использовать выходной буфер на базе NPN транзистора.

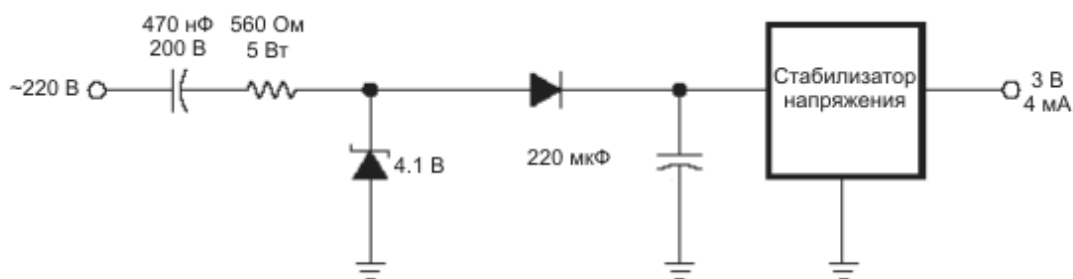


Рисунок 2.9 - Емкостной источник питания.

В
ка
че
ств
е

альтернативного решения в случае массового использования систем автоматического учета можно предложить более дешевое техническое решение с использованием МК того же семейства MSP430P325. Данный микроконтроллер не имеет встроенного сигнального процессора DSP, а также внутренней flash памяти, в нем не предусмотрена аппаратная поддержка интерфейса обмена данными, и он поддерживает управление меньшим числом (84) сегментов ЖК индикатора.

Функциональная электрическая схема электросчетчика, реализованного на МК MSP430P325, показана на рисунке 2.10.

Схема электросчетчика имеет минимум внешних компонентов. Трансформатор тока и вход АЦП A1 служат для измерения тока через нагрузку. Вывод TR.0 переключает пределы измерения тока. Для обеспечения возможности измерять положительный и отрицательный полупериоды напряжения, микроконтроллер питается двухполярным напряжением плюс 2,5 В и минус 2,5 В относительно вывода AVss.

Single-Phase Electricity Meter

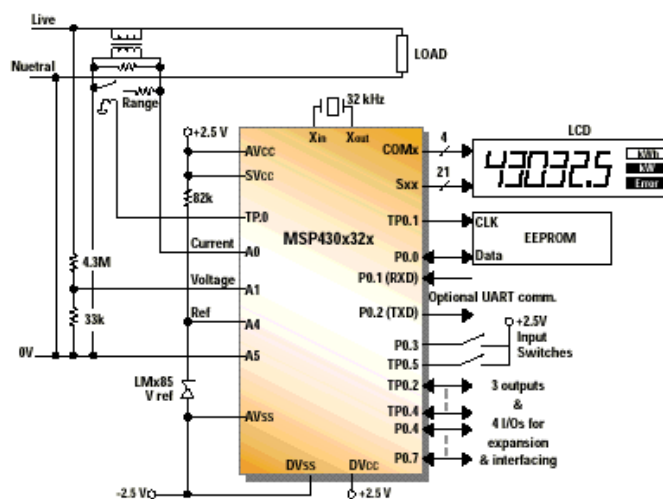


Рисунок 2.10 - Функциональная электрическая схема электросчетчика, реализованного на МК MSP430P325.

Вход АЦП А1 выполняет двоякую функцию: фиксирует переход напряжения через ноль и затем измеряет входное напряжение. Точность фиксации нуля не хуже 60 мкс. Сигнал с входа АЦП А4 применен для коррекции результатов измерения при изменении напряжения питания.

Внешняя энергонезависимая память EEPROM применена для накопления данных.

Подключение электросчетчика к локальной сети или персональному компьютеру доступно по двум линиям ввода-вывода через программно сформированный последовательный интерфейс UART.

Отсутствие встроенных аппаратных ресурсов (DSP, UART, Flash память) требует значительных вычислительных ресурсов на их программную эмуляцию. Поэтому электросчетчик имеет относительно невысокую точность (класс 1,0) из-за уменьшенного числа выборок АЦП и низкую скорость передачи данных (до 19,6 кб\с по интерфейсу RS-232).

Низкая скорость передачи данных затрудняет использование электросчетчика в сетях Ethernet, т.к. снижается вероятность гарантированной доставки сообщений в режиме реального времени.

2.4 Выбор PLC-модема передачи данных

Самое очевидное преимущество использования силовых коммуникаций для передачи данных - отсутствие необходимости прокладывать кабель и осуществлять монтажные работы.

Типовая структурная схема PLC-модема (рисунок 2.11) состоит из четырех основных частей.

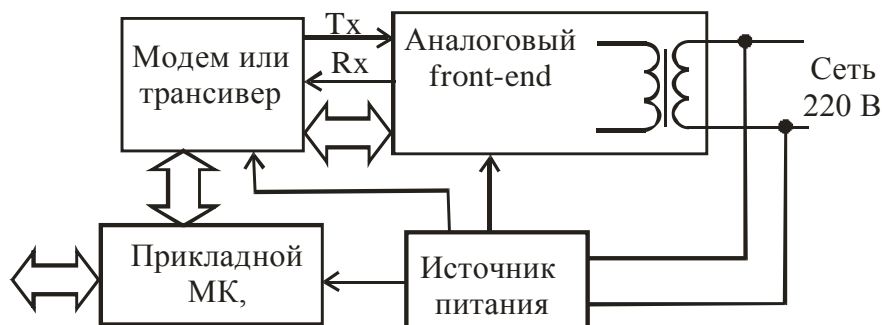


Рисунок 2.11 – Типовая структурная схема PLC-модема.

Входная часть обеспечивает изоляцию, фильтрацию и усиление передаваемых и принимаемых аналоговых сигналов. Сердцем PLC-модема является микросхема модема, трансивера или цифрового сигнального процессора DSP, которая организует протокол передачи данных, а также отвечает за физическую реализацию передачи (формирование несущей частоты, модуляция, демодуляция, фильтрация и т.д.).

Для управления микросхемой модема, как правило, необходим внешний контроллер, а для питания всей схемы используется источник питания, работающий от той же сети переменного тока, которая используется и для передачи данных.

Проведенный обзор предложений PLC-модемов позволил определить три наиболее известных производителя такой продукции - ON Semiconductor, STMicroelectronics и Texas Instruments.

Компания ON Semiconductor предлагает для организации передачи данных по силовым сетям специализированную микросхему модема AMIS-30585. В ней для передачи данных используется разновидность частотной модуляции S-FSK, а несущая частота программируется в диапазоне от 9 до 95 кГц. Максимальная

скорость передачи 1200 бит/с. Особенностью данной микросхемы является наличие встроенного МК с ядром ARM7-TDMI, что обеспечивает внутрисхемную реализацию MAC-уровня. Эта особенность является основным преимуществом перед решениями других производителей. Помимо данного модема, ONS предлагает pin-to-pin-совместимый модем AMIS-49587 со скоростью передачи данных до 2400 бит/с.

На рисунке 2.12 приведена электрическая принципиальная схема входной части модема на основе AMIS-30585.

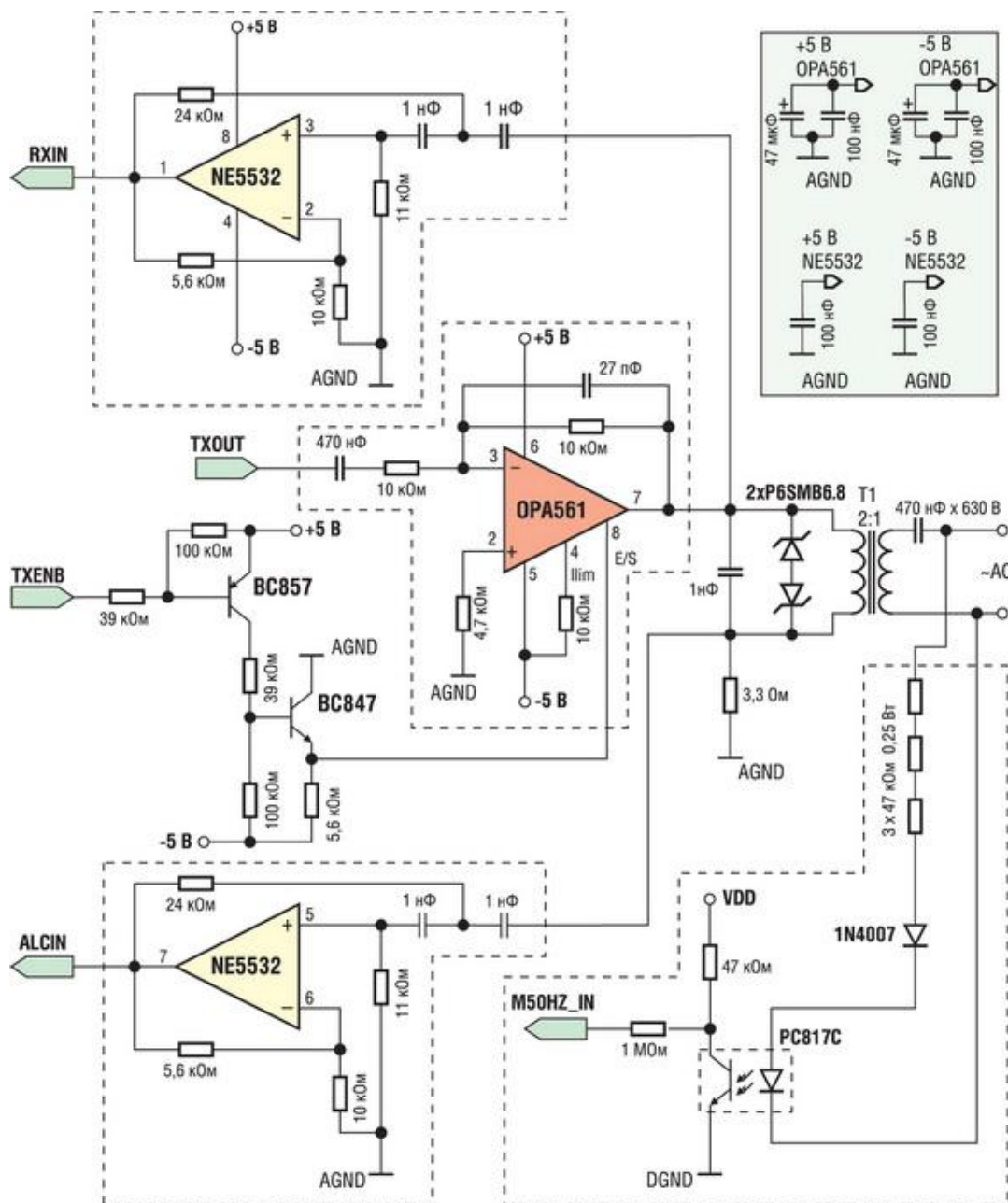


Рисунок 2.12 - Схема входной части модема на основе AMIS-30585.

Входная часть модема включает в себя: изолирующий трансформатор с

разделительным конденсатором (по сути - пассивный ФВЧ), драйвер (усилитель мощности), приемный канал, изолятор на оптроне для получения синхронизирующего сигнала частотой 50 Гц и дополнительный канал для получения сигнала управления мощностью передатчика (обратная связь с передатчиком).

Данная схема для модема на основе AMIS-30585 достаточно проста и не требует экзотической элементной базы, поэтому может быть модифицирована или использована в готовом виде в сочетании с любой другой ИМС модема.

Передача данных от электросчетчиков посредством PLC-модемов наиболее распространена во Франции. По этой причине производством изолирующих трансформаторов для таких модемов занимаются ряд французских и немецких компаний, а сами трансформаторы не слишком доступны. Из наиболее доступных в on-line магазинах (www.efind.ru) можно рекомендовать трансформаторы фирмы Vigortronix - VTX-111-010 и VTX-111-004.

Драйвер силовой линии реализован на операционном усилителе ОРА561 с высоким значением выходного тока (до $\pm 1,2$ А). Это связано с тем, что драйверу приходится работать на нагрузку порядка 5 Ом. Выходной ток ОРА561 в схеме ограничен 0,6 А с помощью резистора 10 кОм между четвертым выводом и минусом питания. Помимо функции раскачки линии, ОРА561 также выполняет функцию фильтра низких частот ФНЧ с характеристикой. Смоделированная в программе EWB амплитудно-частотная характеристика такого фильтра изображена на рисунке 2.13.

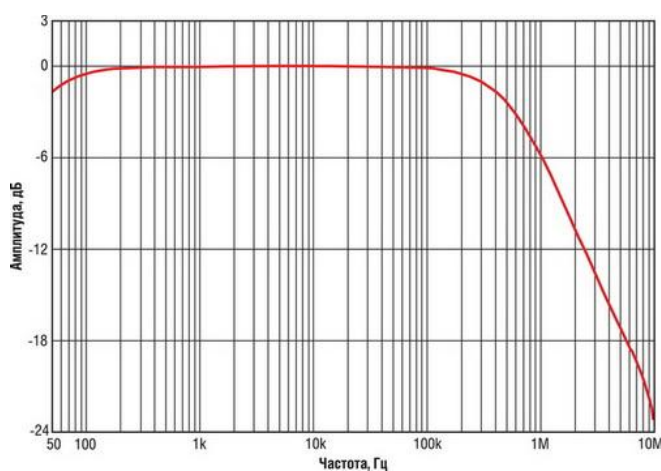


Рисунок 2.13 - АЧХ передающей части.

Поскольку выход ОУ отключается наличием на выводе E/S отрицатель-

ного напряжения питания, а выходная логика AMIS-30585 имеет уровни 0 и +3,3 В, для управления отключением выхода усилителя добавлена схема на транзисторах BC857 и BC847. Следует иметь в виду, что корпус данного ОУ имеет «Power Pad» для отвода тепла, который следует электрически соединить с минусом питания.

Приемник и канал управления мощностью передатчика схемотехнически повторяют друг друга и реализованы на сдвоенном ОУ NE5532. По сути это - фильтр ВЧ, основная задача которого подавить сигнал частоты питающей сети 50 Гц (рисунок 2.14).

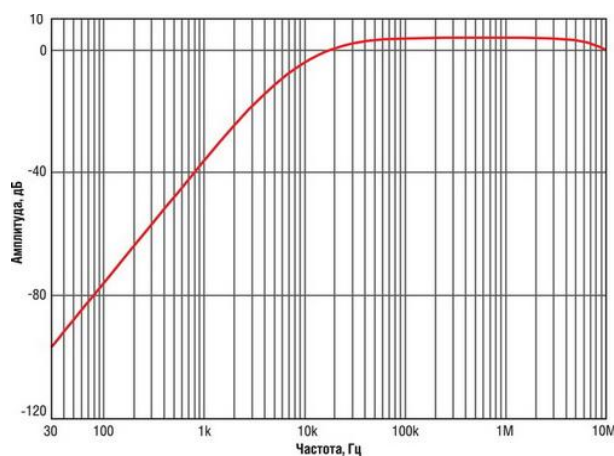


Рисунок 2.14 - АЧХ приемной части.

Такой фильтр позволяет получить ослабление до 90 дБ на частоте 50 Гц. Выход приемного канала соединяется с входом интегрированного в AMIS-30585 операционного усилителя, на котором также реализуется ФВЧ с ослаблением порядка минус 80 дБ, что в сумме дает ослабление до минус 170 дБ (более 10^8 раз) на частоте 50 Гц.

Для пакетной передачи данных AMIS-30585 требуется синхронизирующий сигнал, который несет в себе информацию о пересечении нуля сетевым напряжением частотой 50 Гц. Для этой цели добавлена схема на оптроне PC817C. Выходной сигнал этой схемы - импульсы частотой 50 Гц, амплитудой от 0 до напряжения V_{DD} . Передний и задний фронты этих импульсов соответствуют пересечениям нуля сетевого напряжения.

На рисунке 2.15 изображена типовая схема включения PLC-модема AMIS-30585 компании ON Semiconductor.

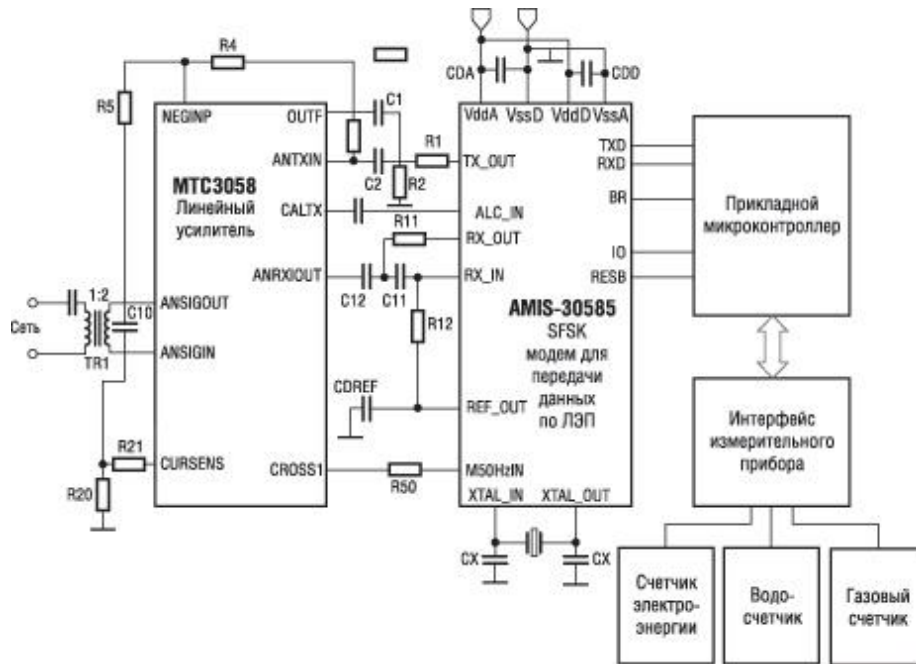


Рисунок 2.15 – Типовая схема включения AMIS-30585.

В данной схеме входная часть модема реализована на линейном драйвере-приемнике MTC-3085, спроектированном специально для PLC-модемов. Микросхема поддерживает большинство видов модуляции и режим энергосбережения, имеет крайне низкий коэффициент искажений и тепловую защиту кристалла. Номинальная полоса пропускания от 10 до 530 кГц.

Компания STMicroelectronics предлагает PLC-модем ST7540, отличительной особенностью которого является наличие интегрированного усилителя мощности и двух линейных стабилизаторов напряжения на 5 и 3,3 В. Входная часть модема на ST7540 показана на рисунке 2.16.

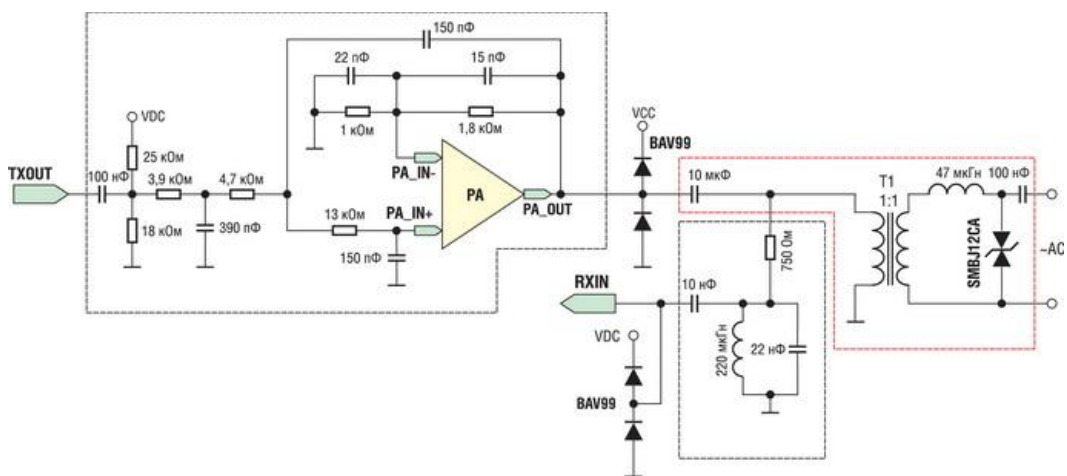


Рисунок 2.16- Схема входной части модема на основе ST7540.

Это решение предназначено для разработчиков, имеющих которые уже

имеют свой собственный протокол передачи данных по последовательному интерфейсу. Например, ST7540 будет полезным при переходе от передачи данных по RS-485 к передаче тех же данных посредством PLC.

Активная часть передатчика имеет АЧХ в целом похожую на АЧХ усилителя мощности для AMIS-30585 (полоса пропускания около 100 кГц, усиление в полосе 9 дБ).

При реализации входной части PLC-модема возможно использование неизолированного решения (рисунок 2.17).

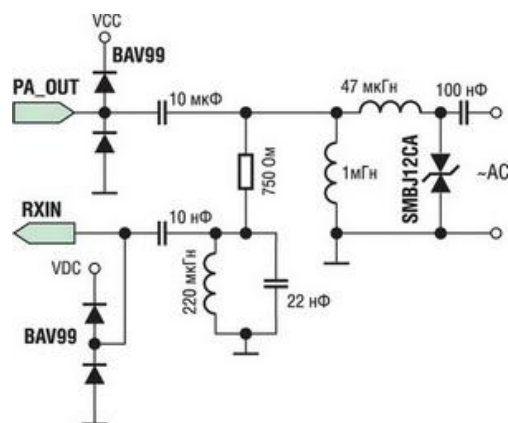


Рисунок 2.17 - Неизолированная входная часть ST7540.

В этом случае при сопряжении микросхемы модема с внешним устройством (МК, адаптер интерфейса) следует применять цифровой изолятор интерфейсов, например, изолятор с емкостным барьером серии ISO7x от Texas Instruments.

Компания Texas Instruments в качестве коммуникационной микросхемы предлагает использовать цифровой сигнальный процессор (DSP) серии C2000 (рисунок 2.18).

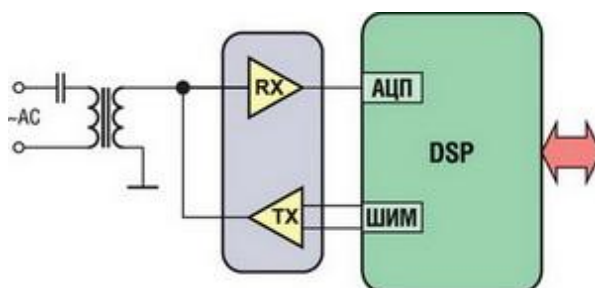


Рисунок 2.18 - Структурная схема сопряжения DSP и аналоговой части.

Преимуществом данного решения является то, что выбор типа модуляции, обеспечение протокола передачи и кодирования данных полностью предо-

ставлено разработчику. Казалось бы, усложнение разработки не является преимуществом перед конкурентами, однако в этом случае у разработчика появляется возможность разработать свой собственный способ помехозащищенной передачи данных, что крайне важно в условиях реалий отечественных бытовых сетей. В итоге, решение на основе DSP может оказаться единственным жизнеспособным в нашей стране.

Что касается финансовой стороны вопроса, то самый простой DSP серии Piccolo от Texas Instruments (которого вполне достаточно для выполнения описанных задач) стоит дешевле микросхемы PLC-модема. Однако значительное усложнение программного обеспечения конечного изделия делает малоэффективным это решение для единичных разработок систем автоматизированного учета.

Проведенный анализ применимости PLC-модемов для организации передачи данных по сети 220 В системы автоматизированного учета В показал преимущества использования AMIS-30585, Обладая относительно низкой ценой (около 15\$) модем обеспечивает относительно высокие технические характеристики и требует незначительного числа внешних компонентов.

2.5 Выбор ЖК индикатора для однофазного счетчика

В разработанном однофазном счетчике электрической энергии используется специальный ЖК индикатор SBLCDA2(T), разработанный компанией SoftBaugh для совместной работы с микроконтроллерами MSP430FE4xx (рисунок 2.19).

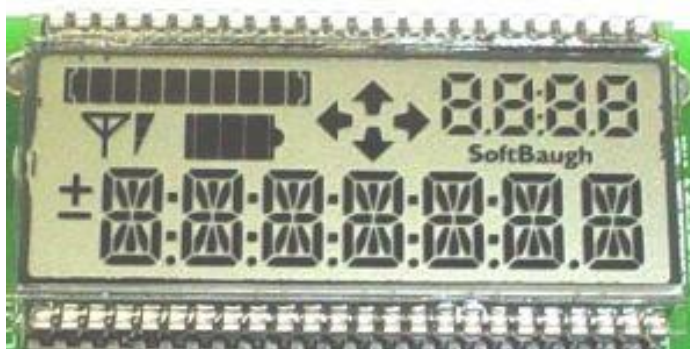


Рисунок 2.19 - ЖК индикатор SBLCDA2(T) электросчетчика.

Индикатор имеет напряжение питания от 2,7 до 3,6 В и может непосред-

ственно управляться LCD драйвером микроконтроллера MSP430F42x. Индикатор отображает семь 14 сегментных цифр, знак «±» и имеет дополнительный четырехзначный семисегментный счетчик времени. Имеются также стрелки направлений вверх, вниз, влево и вправо, трехсегментный указатель разряда батареи, индикатор прогресса (загрузки) для информирования пользователя о ходе какого-либо процесса.

ЖК индикатор SBLCDA2 относится к разряду transmissive (пропускающий) LCD и предназначен для использования при дневном или искусственном освещении, а индикатор SBLCDA2T представляет собой transreflective (полупрозрачный) LCD.

В transmissive-конструкции свет попадает сквозь LCD со стороны задней подсветки. У Transmissive LCD высокое качество изображения в помещении и обычно очень низкое (черный экран) при солнечном свете. Солнечное освещение намного сильнее лампы подсветки, и поэтому отраженные от поверхности экрана солнечные лучи полностью подавляют свет, излучаемый LCD (рисунок 2.20).

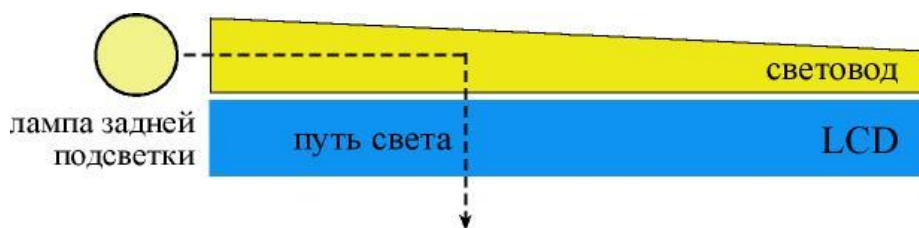


Рисунок 2.20 - Принцип работы Transmissive LCD (SBLCDA2).

Лампа задней подсветки в 500 nit делает transmissive LCD видимым при дневном освещении в тени, а с лампой в 1000 nit его можно использовать при прямом солнечном свете.

Яркости в 300 nit можно добиться путем предельного увеличения яркости одной лампы CCFL (Cold Cathode Fluorescent Lamp) или добавлением второй лампы, расположенной напротив. Модели жидкокристаллических дисплеев с повышенной яркостью имеют от 8 до 16 ламп. Но усиление яркости подсветки ведет к увеличению расхода энергии батарей. Поэтому, экраны с повышенной яркостью можно использовать только при наличии внешнего источника питания.

Модификация LCD заключается в нанесении антиотражающего покрытия

на один или несколько слоёв дисплея, замене стандартного поляризационного слоя на минимально отражающий, добавлении повышающих яркость пленок.

У индикатора SBLCDA2T, имеющего transfective-конструкцию между LCD и слоем подсветки присутствует частично отражающий слой. Он может быть либо частично серебряным, либо полностью зеркальным со множеством маленьких отверстий. Когда такой экран используется в помещении, он работает аналогично transmissive LCD, в котором часть освещения поглощается отражающим слоем.

При дневном освещении солнечный свет отражается от зеркального слоя и освещает LCD. При этом свет проходит LCD дважды, сначала внутрь, а затем наружу. Это приводит к тому, что качество изображения при дневном освещении ниже, чем при искусственном освещении в помещении, когда свет проходит LCD один раз (рисунок 2.21).



Рисунок 2.21 - Принцип работы Transflective LCD (SBLCDA2T).

Transflective LCD - компромиссный вариант. Изображение на нем не будет ярким ни в помещении, ни при солнечном свете.

С учетом реальных условий эксплуатации разработанного счетчика был выбран ЖК индикатор SBLCDA2, как более дешевый.

2.6 Расчет надежности управляющего микроконтроллера

Обычно за надежность принимают свойство изделия выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или наработки. Это комплексное свойство, включающее такие её показатели, как долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Показатели надежности имеют статистический характер и ха-

рактируют партию изделий на основе выборки [26].

Простейший поток отказов описывается распределением Пуассона с постоянным параметром распределения λ , равным среднему числу отказов в единицу времени $P(t) = \exp^{-\lambda t}$.

Разработанное устройство относится к нерезервируемой РЭА, поэтому вероятность безотказной работы изделия равна произведению вероятностей безотказной работы его элементов [20]:

$$P_{\text{изд}} = P_1 P_2 P_3 \dots P_n = \prod_{i=1}^n P_i. \quad (2.5)$$

Выполняя расчет для периода нормальной эксплуатации, можно считать интенсивности отказов элементов λ_i величинами постоянными, а вероятность безотказной работы каждого элемента - подчиняющуюся экспоненциальному закону: $P_i = e^{-\lambda_i t}$.

Отсюда наработка на отказ изделия $T_o = 1/\lambda_{\text{изд}}$, а вероятность безотказной работы $P_{\text{изд}} = \exp^{-t/T_o}$. Здесь $\lambda_{\text{изд}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ - параметр, характеризующий интенсивность отказов изделия.

Величина интенсивности отказов РЭА λ_o определяется по формуле:

$$\lambda_o = \sum_{i=1}^n N_i \lambda_i. \quad (2.6)$$

Учитывая вышеизложенное, проведем ориентировочный расчет основных показателей надежности разработанного устройства. Полученные данные сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Расчет показателей надежности управляющего контроллера

Наименование и тип элемента	Обозначение по схеме	Кол-во элементов, шт.	Интенсивность отказов при н.у., 10^{-6}	Интенсивность отказов группы 10^{-6}
Резисторы постоянные RC2012	R	28	0,1	2,8
Конденсаторы GRM 40	C	14	0,2	2,8
Конденсаторы CC1808	C	5	0,3	1,5
Микросхемы	DD,DA	5	0,05	0,25
Разъемы	X	6	0,4	2,4
Резонатор кварцевый РК206	ZQ	1	0,2	0,2
Транзисторы	VT	3	0,2	0,6

Трансформатор VTX-111	T	1	1,4	1,4
-----------------------	---	---	-----	-----

Продолжение таблицы 2.1

Наименование и тип элемента	Обозначение по схеме	Кол-во элементов, шт.	Интенсивность отказов при н.у., 10^{-6}	Интенсивность отказов группы 10^{-6}
Оптопары, диоды, стабилитроны	VD	5	0,6	3,0
ЖК модуль	HG	1	2,4	2,4
Паяные соединения и межслойные переходы	-	236	0,01	2,36
Итого				19,71

Согласно приведенным выше формулам, наработка на отказ разработанного устройства составит:

$$T_0 = \frac{1}{\lambda_0} = \frac{1}{19,71 \cdot 10^{-6}} = 50736 \approx 51 \text{ тысяча часов.}$$

Вероятность безотказной работы за 1000 часов непрерывной работы составит: $P(1000) = 0,998$.

Проведенные расчеты показывают, что разработанный контроллер обладает высокой надежностью, удовлетворяющей требованиям технического задания.

При круглосуточной эксплуатации контроллера он может отказать только через 6 лет. Это означает, что за весь срок службы изделие потребует только один ремонт, что обеспечивает минимальные эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и ремонт электросчетчика.

3 Конструкторская часть. Реализация и ввод в эксплуатацию управляющего микроконтроллера

3.1 Калибровка разработанного электросчетчика

Калибровка электронного счетчика электроэнергии на базе микроконтроллера семейства MSP430 с помощью обычной калибровочной аппаратуры, которая используется для калибровки обычных электросчетчиков, возможна, но неэффективна. Вычислительная мощность MSP430 позволит сделать калибровку методами, приведенными далее.

Основная калибровка инициализируется командой `s0`, передаваемой через UART. Для выполнения этой команды необходимо в файле `parameter.h` определить входные значения параметров: `calVoltage`, `calCurrent`, `calPhi`, `calCosPhi`, `calFreq`.

Калибровка фазового сдвига между током и напряжением выполняется с точностью 0,5 градуса.

На рисунке 3.1 показана схема включения электросчетчика при калибровке.

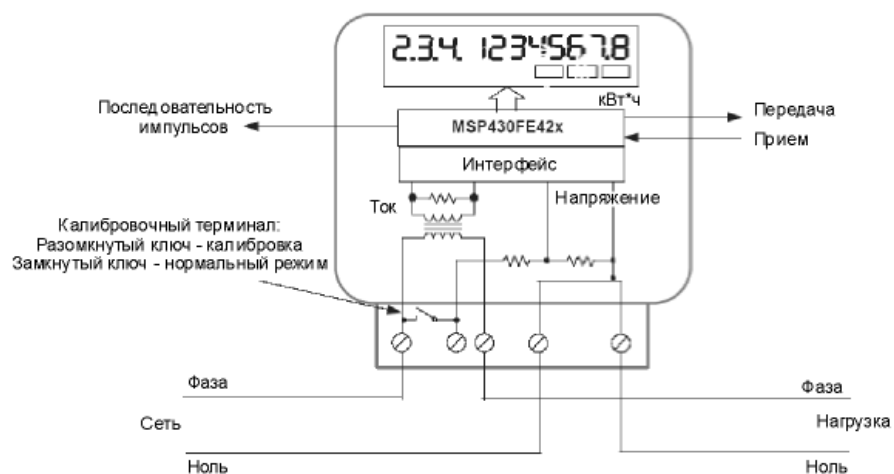


Рисунок 3.1 - Электронный счетчик электроэнергии с внешними терминалами.

При калибровке счетчика электроэнергии нужно разделять тракты измерения тока и напряжения. Это позволит выполнять калибровку с низкими потерями энергии и определять величины напряжения, тока и фазового сдвига.

3.1.1 Калибровка при непрерывном измерении

Нормальный рабочий режим ESP430CE1 можно установить с помощью команды `SetMode`. Значение измеренной мощности, записывается после каждого

измерения в регистр ActEnSPer1 (и в регистр ActEnSPer2 для систем с двумя датчиками) и преобразуется вычислительным ядром в сигнал с постоянной частотой, пропорциональный измеренной мощности. Для формирования сигнала с постоянной частотой используется модуль таймера Timer_A.

При калибровке выполняется последовательность действий, показанная на рисунке 3.2.

Все перечисленные шаги повторяются и во второй калибровочной точке.

Калибровка обоих датчиков должна быть выполнена независимо. При калибровке одного датчика измерителя ток через второй датчик должен быть нулевым и наоборот.

Калибровка производится за один основной период (или за прег основных периодов) при двух токах нагрузки I_{HI} и I_{LO}. Номинальная вычисленная мощность для двух точек калибровки:

$$n_{HIcalc} = Cz1 \times I_{HI} \times V1 \times \cos\phi1 \times (n_{per} / f_{mains}) \times (f_{ADC} / 4096) \text{ [шаги}^2\text{]}$$

$$n_{LOcalc} = Cz1 \times I_{LO} \times V1 \times \cos\phi1 \times (n_{per} / f_{mains}) \times (f_{ADC} / 4096) \text{ [шаги}^2\text{]}$$

Результирующие значения для наклона и смещения:

$$\text{Наклон: GainCorr1} = ((n_{HIcalc} - n_{LOcalc}) / (n_{HImeas} - n_{LOmeas})) \times 2^{14}$$

$$\text{Смещение: Poffset} = (((n_{HImeas} \times n_{LOcalc}) - (n_{LOmeas} - n_{HIcalc})) / (n_{HImeas} - n_{LOmeas})) \times (f_{mains} / n_{per}) \times (4096 / f_{ADC}),$$

где:

f_{mains} – основная частота в Гц;

f_{ADC} – частота дискретизации АЦП в Гц (обычно 4096 Гц);

n_{per} – количество основных периодов, использованных при калибровке;

n_{HIcalc} – вычисленная мощность в точке калибровки с высоким током в шагах в квадрате;

n_{HImeas} – измеренная мощность в точке калибровки с высоким током в шагах в квадрате;

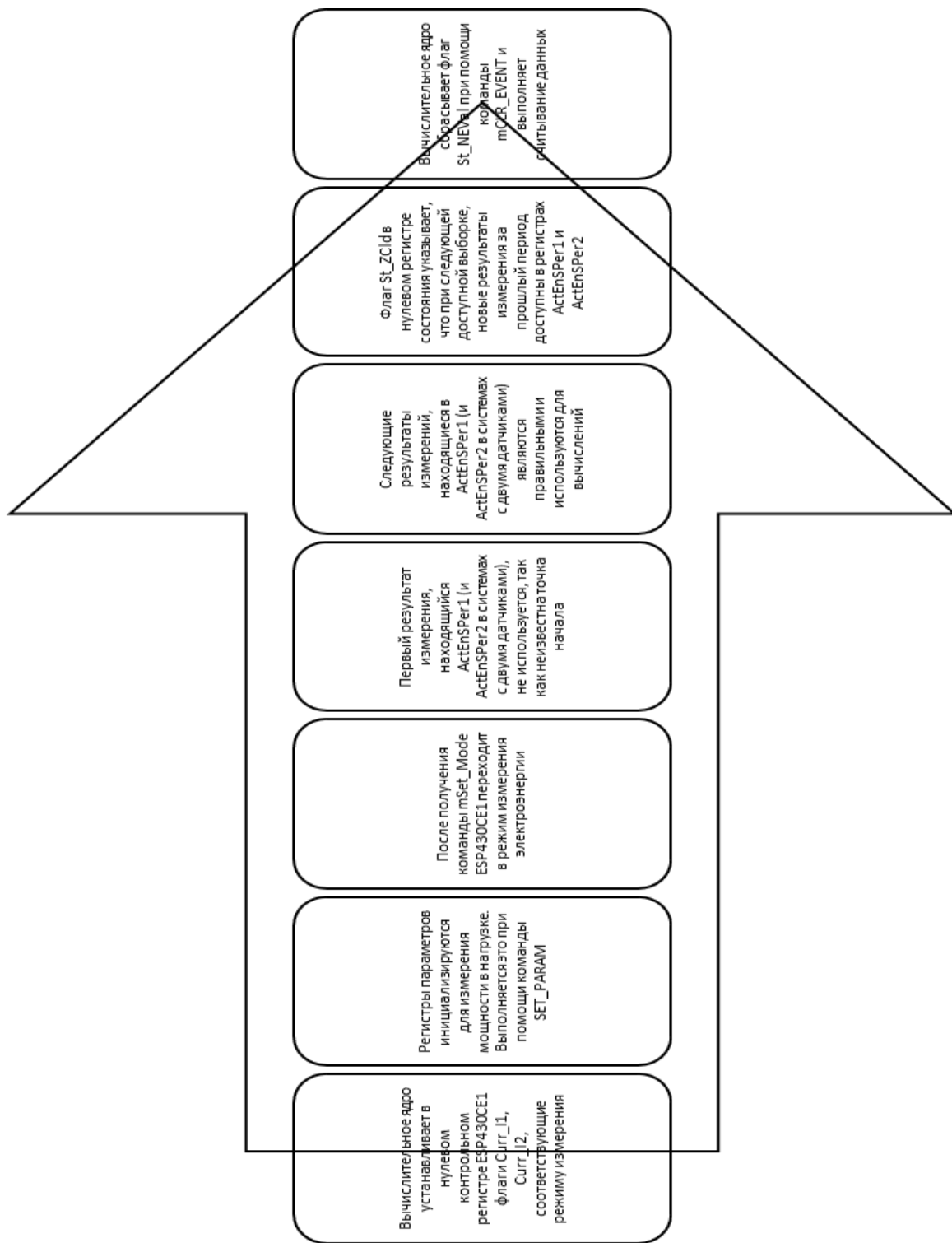


Рисунок 3.2 – Последовательность действий при калибровке электросчетчика.

nLO_{clac} – вычисленная мощность в точке калибровки с низким током в шагах в квадрате;

nLO_{maes} – измеренная мощность в точке калибровки с низким током в шагах в квадрате.

В качестве примера приведем результат калибровки электросчетчика для схемы рисунка 2.6. Калибровка производится при следующих условиях:

$$V1 = 230 \text{ В}, I_{HI} = 20 \text{ А}, I_{LO} = 1 \text{ А}, \cos\phi = 1, n_{per} = 1, f_{ADC} = 2048 \text{ Гц}, f_{mains} = 50 \text{ Гц}.$$

Тогда получим

$$nH_{calc} = Cz1 \times I_{HI} \times V1 \times \cos\phi \times (n_{per} / f_{mains}) \times (f_{ADC} / 4096) = 29,32280806 \times 20 \times 230 \times 1 \times (1 / 50) \times (2048 / 4096) = 1,348,849.171 = 14,94F1h \text{ [шагов}^2\text{]}$$

$$nLO_{calc} = Cz1 \times I_{LO} \times V1 \times \cos\phi \times (n_{per} / f_{mains}) \times (f_{ADC} / 4096) = 29,32280806 \times 1 \times 230 \times 1 \times (1 / 50) \times (2048 / 4096) = 67,422458 = 1,0772h \text{ [шагов}^2\text{]}$$

Результат измерения в обеих точках:

$$nH_{meas} = 14,6040h \text{ (ошибка } -1 \% \text{ по сравнению с } nH_{calc} = 14,94F1h)$$

$$nLO_{meas} = 1,0CB7h \text{ (ошибка } +2 \% \text{ по сравнению с } nLO_{calc} = 1,0772h)$$

$$GainCorr1 = ((nH_{calc} - nLO_{calc}) / (nH_{meas} - nLO_{meas})) \times 2^{14} = ((14,94F1h - 1,0772h) / (14,6040h - 1,0CB7h)) \times 2^{14} = 40C0h$$

$$Poffset = (((nH_{meas} \times nLO_{calc}) - (nLO_{meas} \times nH_{calc})) / (nH_{meas} - nLO_{meas})) \times (f_{mains} / n_{per}) \times (4096 / f_{ADC}) = (((14,6040h \times 1,0772h) - (1,0CB7h \times 14,94F1h)) / (14,6040h - 1,0CB7h)) \times (50 / 1) \times (4096 / 2048) = -215,489 = FFFC,B63Fh .$$

Если точки калибровки исправить с учетом наклона и смещения, тогда:

$$n_{corr} = (n_{meas} \times GainCorr1) \times 2^{-14} + (Poffset1) \times (n_{per} / f_{mains}) \times (f_{ADC} / 4096) \quad nH_{corr} = 14,6040h \times 40C0h \times 2^{-14} + FFFC,B63Fh \times ((1 \times 2048) / (50 \times 4096)) = 1,348,890 = 14,951Ah$$

$$nLO_{corr} = 1,0CB7h \times 40C0h \times 2^{-14} + FFFC,B63Fh \times ((1 \times 2048) / (50 \times 4096)) = 67,441 = 1,0771h$$

Результирующая ошибка при обеих коррекциях равняется +0,0031%.

3.1.2 Калибровка при помощи ПК

На рисунке 3.3 представлен возможный вариант установки электронных счетчиков электроэнергии для калибровки.

Электросчетчики подключаются к последовательному порту ПК через последовательный порт USART0, который работает в режиме UART или SPI. Все нужные для калибровки вычисления выполняет ПК, а MSP430 каждого электросчетчика только запоминает полученные корректировочные величины во встроенной памяти данных или внешней EEPROM памяти.

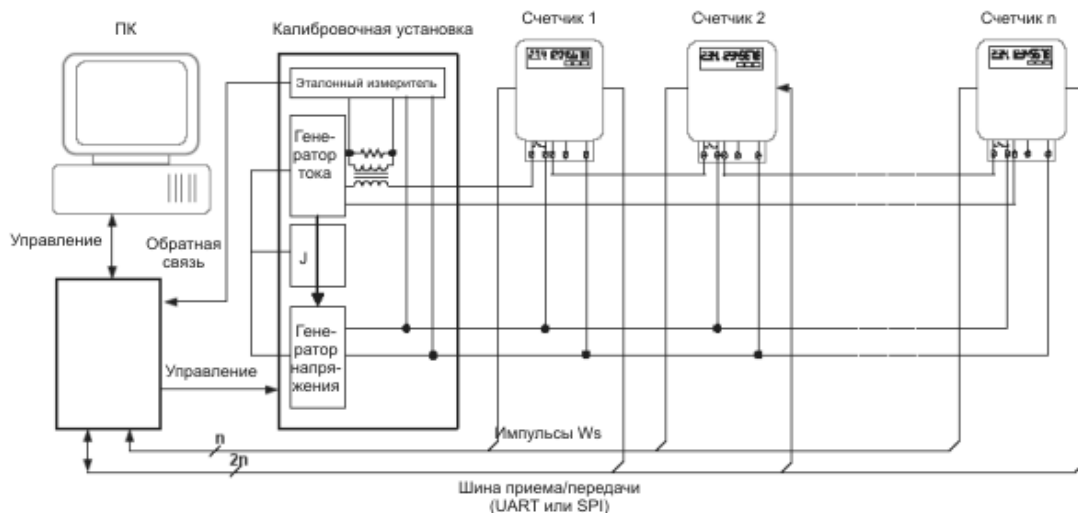


Рисунок 3.3 - Калибровка электросчетчиков при помощи ПК.

ПК управляет установкой для калибровки, которая состоит из генератора напряжения, генератора тока и фазовращателя, через коммуникационный интерфейс. ПК считывает результаты умножения напряжения и тока, вычисленные встроенными АЦП (или количество импульсов Ws на выходе каждого электросчетчика) и сравнивает эти значения со значениями, полученными эталонным электросчетчиком, который находится в составе калибровочной аппаратуры.

ПК вычисляет ошибку электросчетчика в одной (например, при номинальном токе) или двух (например, при максимальном и номинальном токе потребления) точках калибровки. По результатам этих ошибок вычисляются индивидуальные корректировочные коэффициенты для наклона и угла смещения и передаются в конкретный электросчетчик, в котором микроконтроллер MSP430 сохраняет эти значения.

Формулы для вычисления значений калибровочных констант приведены в руководстве пользователя модуля ESP430CE1.

3.1.3 Самокалибровка

Еще одна методика калибровки применяет способность MSP430 выполнять сложные вычисления. Основное преимущество этой методики калибровки - это простота, т.к. для передачи данных при этом методе не требуется никаких проводных соединений (рисунок 3.4).

Последовательность метода самокалибровки представлена на рисунке 3.5.

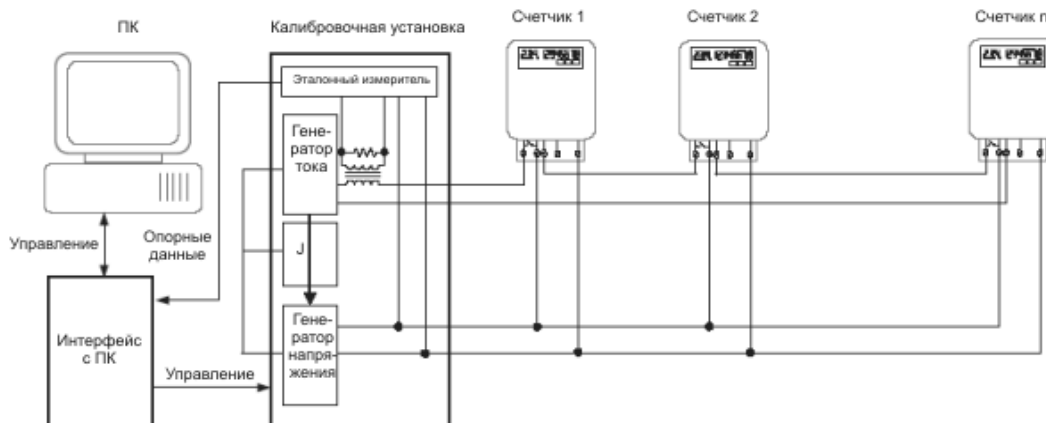


Рисунок 3.4 - Самокалибровка электросчетчиков.

После калибровки можно провести простой визуальный тест:

- для обнуления индикаторов электросчетчики сбрасываются;
- калибровочная аппаратура выдает точно определенное количество энергии (при различных значениях тока, напряжения и $\cos \varphi$);
- визуально проверяется, отображение одинаковой величины измеренного значения потребленной энергии на всех счетчиках;
- по показаниям ЖКИ можно определить, что рассчитанные коэффициент наклона и смещения выходят за допустимые пределы.

Например, если провести калибровку при следующих параметрах:

- 10 000 Ws (100 % I_{nom} , 100 % V_{nom} , $\cos \varphi = 1$)
- 5 000 Ws (100 % I_{nom} , 100 % V_{nom} , $\cos \varphi = 0,5$)

Калибруемые электросчетчики должны показать значение Ws, равное 15 900 с допустимой погрешностью. Если вычисленное значение выходит за допустимые пределы, то электросчетчик признается не прошедшим калибровку.

3.2 Рекомендации по трассировке печатной платы счетчика

Верная трассировка печатной платы очень важна для систем, использующих АЦП с высоким разрешением. На рисунке 3.6 приведены основные рекомендации по трассировке плат.

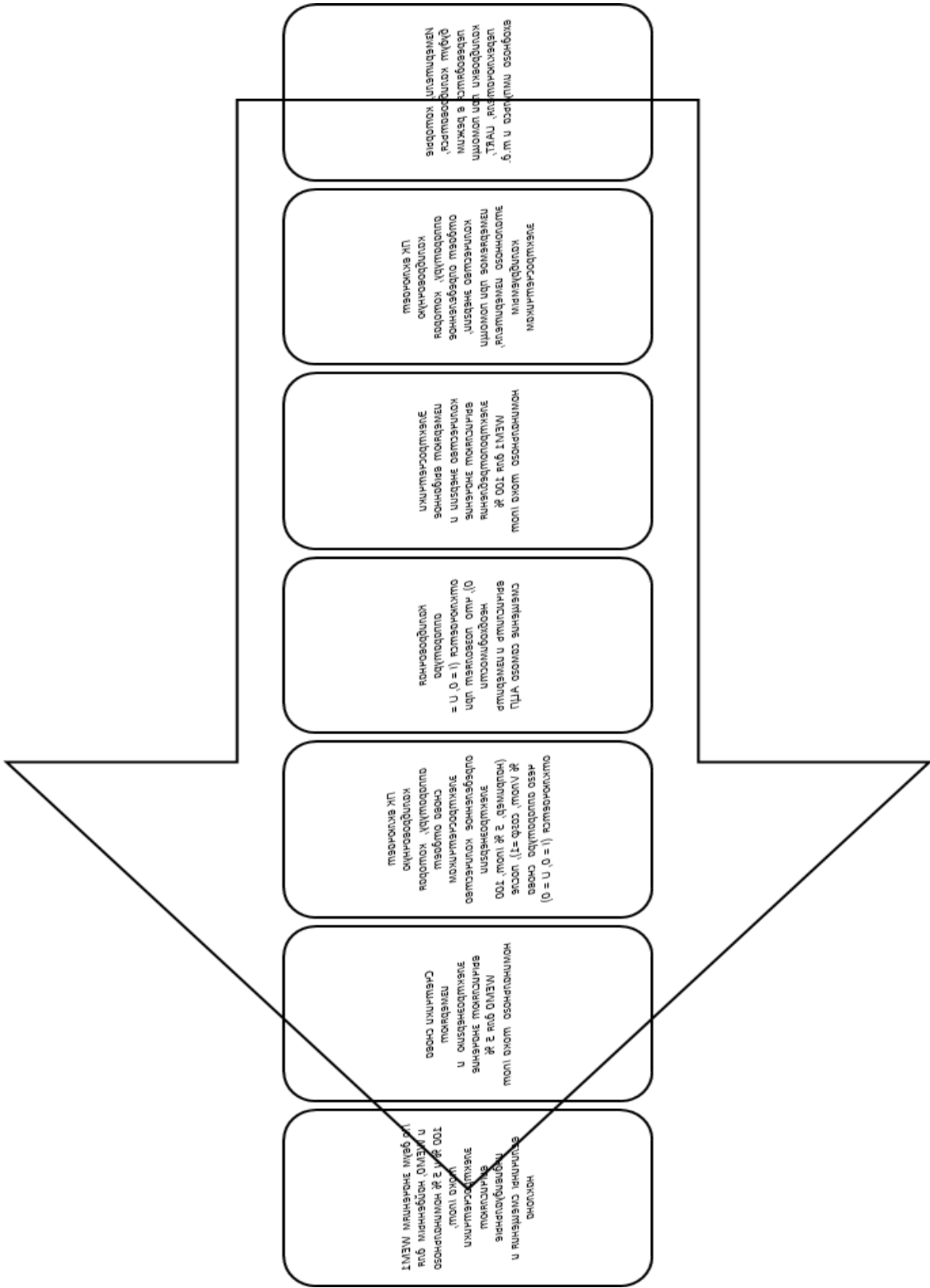


Рисунок 3.5 – Последовательность действий при самокалибровке электросчетчика.

Основные рекомендации по трассировке печатных плат

Установка конденсаторов в точке схождения всех линий аналоговой «земли» и в точке схождения всех цифровых «земель»

Конденсатор С_б следует расположить в точке схождения всех шин питания для обеспечения низкого полного сопротивления этого конденсатора

AV₅₅ и DV₅₅ шины должны быть внешне соединены вместе

Источник питания и накопительный конденсатор С_б должны быть расположены максимально близко друг к другу, а между выводами, подключенным к шинам аналогового и цифрового питания, должны быть установлены конденсаторы С_а и С_в

Для развязки шин аналогового и цифрового питания необходимо использовать катушку индуктивности L. Также можно использовать и резистор, но при использовании катушки индуктивности обеспечивается лучшая фильтрация высоких частот

Если по периметру печатной платы проходит дорожка, то она должна быть подключена к заземляющей шине платы

Весьма важным фактором, который необходимо учитывать при трассировке печатной платы является обеспечение электросчетчика от источников электромагнитного излучения.

На рисунке 3.7 показана печатная плата с оптимальной трассировкой. Участки - приемники ЭМИ, имеют минимальную площадь.

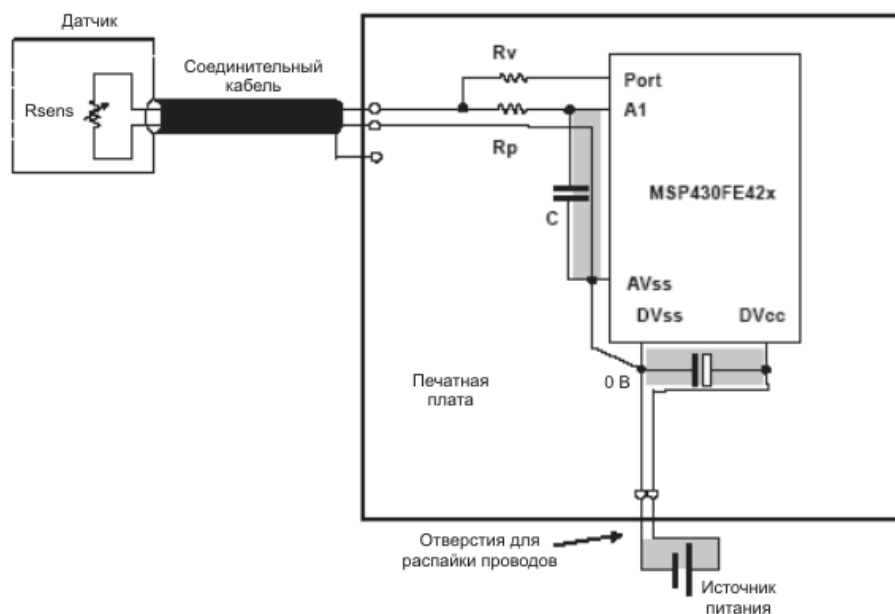


Рисунок 3.7 - Печатная плата с минимальной чувствительностью к ЭМИ.

3.3 Оценочные платы для настройки микроконтроллеров MSP430FE42x

Компания Softbaugh предлагает для разработчиков и пользователей микроконтроллеров семейства MSP430FE42x недорогие оценочные платы с ЖКИ. Одной из наиболее интересных является SFB-BLCDA2 - макетная плата с большой плотностью монтажа для ознакомления и отладки систем на базе микроконтроллера MSP430 и жидкокристаллического индикатора SBLCDA2.

Плата SFB-BLCDA2 имеет небольшие размеры (рисунок 3.8) и может непосредственно использоваться как основа будущей встраиваемой системы.

Для этого достаточно только поместить плату в малогабаритный корпус и вывести наружу необходимые интерфейсные разъёмы.

Посредством подключения отдельных модулей доступен широкий ассортимент периферийных интерфейсов: JTAG (LPT, в том числе изолированный, USB, JFPC) и RS-232.

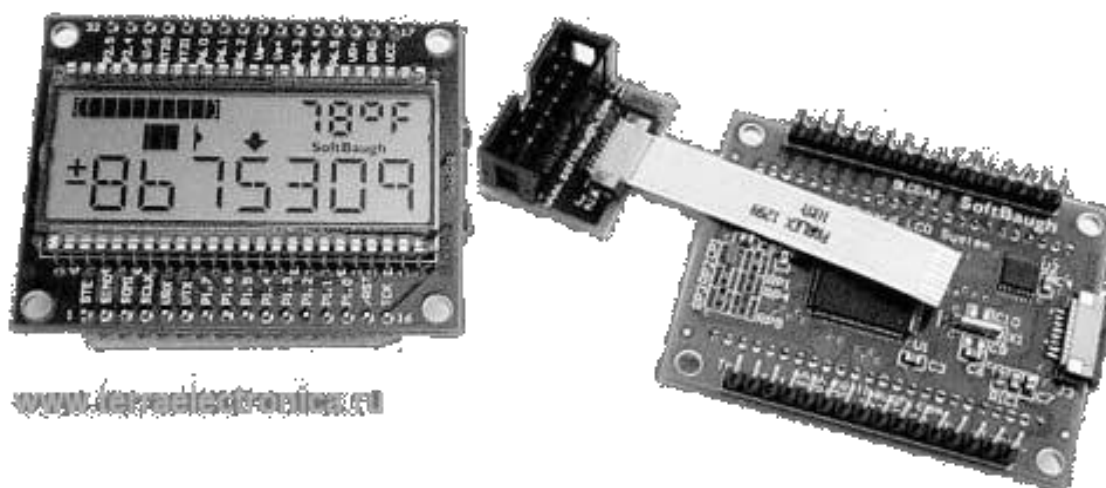


Рисунок 3.7 -Макетная плата SFB-BLCDA2 для ознакомления, построения и отладки систем на базе микроконтроллера MSP430.

Отличительные особенности макетной платы SFB-BLCDA2:

- а) установленный микроконтроллер MSP430FE427;
- б) индикатор SBLCDA2 с программным управлением контрастностью;
- в) недорогой кварцевый резонатор 32кГц;
- г) интерфейсы I²C и UART (опционально);
- д) USB-JTAG эмулятор (опционально).

Плату SFB-BLCDA2 можно использовать в качестве графического пользовательского интерфейса в системах управления и контроля. Большое количество свободных портов ввода-вывода позволяет разработчику в кратчайшее время подключить любые периферийные устройства или схему пользователя.

Для полноценной работы платой SFB-BLCDA2 может потребоваться JTAG-эмулятор: MSP430-JTAG (Olimex), MSP430-JTAG-TINY (Olimex), MSP430-JTAG-ISO(Olimex), MSP-FET430PIF (TI), MSP-FET430UIF (TI), SFB-FETP (Softbaugh), SFB-ISOFET (Softbaugh).

Гораздо более мощным средством является отладочная плата SFB-DE427 для разработки однофазных счетчиков этой же компании. Внешний вид платы показан на рисунке 3.9, а принципиальная схема ее основных модулей приведена в графической части бакалаврской работы.

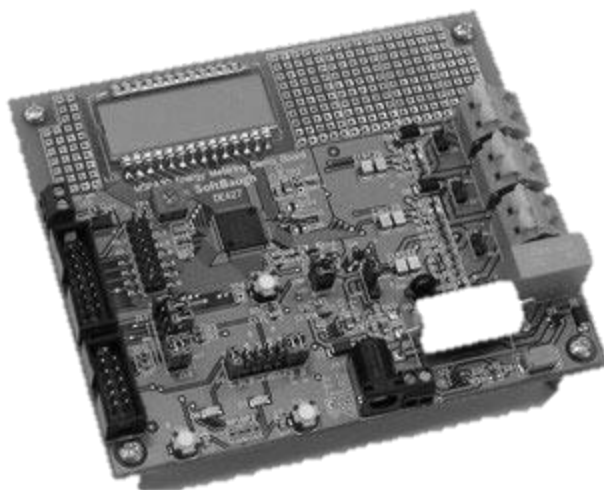


Рисунок 3.9 – Внешний вид отладочной платы SFB-DE427.

В состав отладочной платы SFB-DE42 входят:

- а) микроконтроллер MSP430FE427;
- б) многофункциональный ЖКИ;
- в) повышающий источник питания;
- г) разъём для подключения BLMSPF (MSP430 Flash Bootloader);
- д) два пользовательских светодиода и две пользовательские кнопки;
- е) JTAG и BLMSPF порты в виде IDC коннекторов;
- ж) область для макетирования.

Для работы с отладочной платой SFB-DE42 используется программирующий адаптер SFB-ISOCOM - полный функциональный аналог JTAG программирующего модуля, поставляемого в составе инструментария для отладки и эмуляции систем на основе микроконтроллеров MSP430 (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 - Программирующий JTAG адаптер SFB-ISOCOM.

Адаптер обеспечивает изоляцию до 1000 В в схемах управления силовыми

электрическими цепями, подключается к USB порту ПК, совместим с программным обеспечением сторонних производителей.

На сайте производителя (www.terraelectronica.ru) доступны для скачивания демонстрационное программное обеспечение и технические описания на плату SFB-BLCDA2 и другие отладочные платы.

3.4 Средства отладки и программирования микроконтроллеров MSP430

Микроконтроллер может стать основой любой электронной схемы только в том случае, когда в его памяти будет размещена специально разработанная программа управления микроконтроллером.

Программатор подключается к МК с помощью собственного интерфейса программирования, причем для MSP430 может быть использовано два варианта таких интерфейсов:

а) JTAG - интерфейс позволяет, помимо обычной «прошивки», осуществлять внутрисхемную отладку (ISP) программы МК;

б) BSL - интерфейс (bootstrap loader interface) использует встроенную на этапе промышленного изготовления МК программу - загрузчик, которая формирует протокол последовательного обмена данными.

3.4.1 Интерфейс внутрисхемного программирования JTAG

Более интересным с точки зрения практического использования для перепрограммирования разработанного электросчетчика в составе действующего оборудования («на месте») является интерфейс JTAG. Основные сведения о JTAG-интерфейсе приведены в фирменной документации Texas Instruments SLAA0149. Этот интерфейс присутствует во всех микроконтроллерах MSP430 и состоит из нескольких сигнальных линий, минимальное количество которых равно четырем.

В микроконтроллерах, размещенных в 20 или в 28 выводном корпусе, есть также пятая линия TEST, которая включает JTAG-интерфейс подачей на соответствующий вывод микросхемы логической единицы.

Функции выводов, названия и типы основных сигналов JTAG- интерфейса

приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Основные сигналы интерфейса JTAG

Вывод	Тип	Назначение
TMS	входной	Контроль состояния JTAG-интерфейса
TCK	входной	Тактовый вход JTAG-интерфейса
TDI	входной	Вход данных JTAG-интерфейса/Вход TCLK
TDO	выходной	Выход данных JTAG-интерфейса
TEST	входной	Включение JTAG (20 и 28 выводов)

Еще один дополнительный сигнал, который может встречаться в схемах программаторов, - это сигнал TCLK. Это - тактовая последовательность при загрузке данных в память МК и тактирования центрального процессора. Обычно дополнительного вывода для подачи сигнала TCLK не предусматривается и на эту функцию нагружается вывод TDI.

Отдельный вывод TCLK раньше существовал в виде альтернативной функции вывода XOUT, но оказалось удобнее совместить эту функцию с выводом TDI. В настоящее время вся flash-линейка MSP430 выпускается именно в такой конфигурации, соответствующим образом скорректировано и программное обеспечение.

Обмен по JTAG-интерфейсу осуществляется с помощью макросов доступа (JTAG access macros). Функции, выполняемые этими макросами представлены на рисунке 3.11.

Коммуникационные инструкции для работы с flash-памятью условно разделены на пять групп:

а) инструкции контроля шины адресов памяти (controlling the memory address bus);

б) инструкции контроля шины данных памяти (controlling the memory data bus);

в) инструкции контроля состояния центрального процессора (controlling the CPU);

г) инструкции верификации памяти (memory verification);

д) инструкции защиты программного обеспечения (access fuse programming).

<i>IR_SHIFT</i>	<ul style="list-style-type: none">• Осуществляет загрузку 8-битовой JTAG-инструкции в регистр IR
<i>DR_SHIFT16</i>	<ul style="list-style-type: none">• Загружает 16-битовые данные в регистр DR по линии TDI• Выдает по линии TDO данные, помещенные в регистр DR в предыдущем цикле
<i>DELAY</i>	<ul style="list-style-type: none">• Может быть задействован, если нужно сохранить полученные результаты в течение какого-то времени• При выполнении макроса все сигналы, поступающие к микроконтроллеру и получаемые от него, сохраняют свою величину
<i>SetTCLK</i>	<ul style="list-style-type: none">• Устанавливает сигнал TCLK в состояние логической единицы
<i>ClrTCLK</i>	<ul style="list-style-type: none">• Устанавливает сигнал TCLK в состояние логического нуля

Рисунок 3.11 – Функции, выполняемые макросами доступа.

Пятая группа инструкций позволяет защитить разработанное коммерческое программное обеспечение MSP430 от копирования и использования в промышленных масштабах «пиратами». Механизм защиты работает следующим образом. В кристалле МК предусмотрена плавкая перемычка (fuse), которую можно пережечь с помощью соответствующей инструкции, и функция JTAG-интерфейса доступа к памяти после этого отключается навсегда, то есть без возможности восстановления.

Типовая схема подключения JTAG-интерфейса к MSP430 приведена на рисунке 3.12.

3.4.2 Программные средства разработки

К программным средствам относятся среды разработки (IDE), компиляторы языков высокого уровня, программные симуляторы (обычно встраиваются в IDE) и т.п.

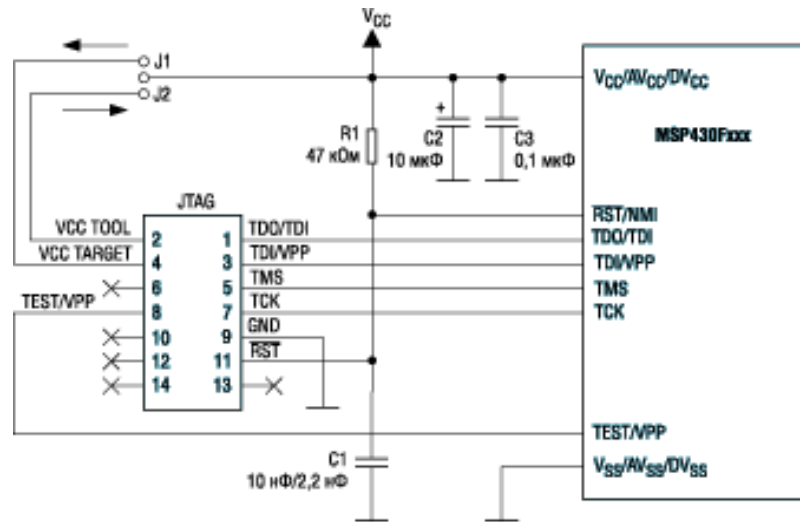


Рисунок 3.12 – Типовая схема подключения JTAG-интерфейса к MSP430.

Одним из основных программных средств разработки и отладки программного обеспечения встраиваемых приложений на базе всего семейства микроконтроллеров MSP430, рекомендованных компанией TI, является MSP-CCE430 (Code Composer Essentials).

Среда CCE430 основана на открытой платформе Eclipse [20], которая предназначена для создания инструментов разработки и предоставляет разработчику свободный выбор средств интеграции, моделирования и тестирования, выбор языка программирования, платформы и поставщика этих средств.

Использование платформы Eclipse дает разработчику специализированные средства и набор дополнительных программных модулей. Этот инструментарий призван упростить интеграцию программных средств от разных поставщиков и уменьшить время разработки и ее стоимость.

В составе CCE430 имеется весь необходимый набор соответствующих средств разработки:

- а) C-компилятор, ассемблер и линкер для ядра MSP430,
- б) отладчик на уровне исходного кода;
- в) встроенный менеджер проектов;
- г) поддержка аппаратных и программных точек останова;
- д) встроенный текстовый редактор (подсветка синтаксиса языка, контроль корректности при написании кода, автоматическое высвечивание информации об объектах: функции, переменные и т.п.);

е) информация, доступная во время отладки: переменные и вычисляемые выражения, ячейки памяти, внутренние регистры ядра MSP430.

В версии CCE430 v2.0 введены улучшения для удобства работы со средой:

а) улучшена стабильность работы отладчика;

б) удобный менеджер проектов для начала работы, запускаемый при запуске среды;

в) поддержка микроконтроллеров с объемом флэш-памяти более 64 Кбайт (в частности, MSP430F461x);

г) расширенные возможности управления точками останова (точка останова при переполнении стека, точки останова для переменных);

д) возможность (в CCE v2.0) благодаря использованию открытого графического интерфейса Eclipse, подключать различные плагины: например, поддержку системы контроля версий SubVersion;

е) усовершенствованный C-компилятор, позволяющий формировать дополнительную информацию, в которой сообщается размер используемого стека, граф вызовов функций и т.д., а также встроенный скриптовый язык, позволяющий, например, выяснить точный минимальный размер стека, необходимого для работы программы;

ж) возможность подключения к CCE430 продуктов сторонних производителей типа C-компиляторов, линкеров;

з) поддержка работы под операционной системой Linux.

На сайте Texas Instruments доступна для свободного скачивания (zip-архив размером около 100 Мбайт) оценочная версия среды CCE430 [21], ограничение введено только в общем объеме машинного кода - до 8 Кбайт. В полной версии ограничений нет.

Для начала работы в среде CCE430 на сайте Texas Instruments доступен для скачивания документ MSP-FET430 FLASH Emulation Tool (FET) [20].

3.5 Отладка PLC-модема

Компания ON Semiconductor предлагает отладочный набор AMIS49587EVK для микросхемы модема AMIS-49587 - однокристалльного моде-

ма, предназначенного для передачи данных по линиям электропередач с низким и средним напряжением.

AMIS-49587 соответствует стандартам EN 50065 CENELEC и IEC 1334-5-1. Он работает от источника питания 3,3 В и подсоединяется к силовой линии через внешний усилитель мощности и трансформатор. Внутренняя схема ФАПЧ привязана к частоте сети электропитания (50 или 60 Гц) и используется для синхронизации передачи данных на скоростях 300,600, 1200 и 2400 бод, что соответствует 3,6,12 или 24 битов на полцикла частоты сети.

Для модуляции данных применяется смешанный вид S-FSK, сочетающий в себе преимущества частотной модуляции и методик расширения спектра. В отличие от классической частотной модуляции, соответствующие логическому нулю и логической единице, разнесены на большое расстояние, поэтому качество передачи нулей и единиц не зависит друг от друга. Пары частот, поддерживаемые AMIS-49587, лежат в диапазоне от 9 до 95 кГц и отличаются обычно на 10 кГц.

Согласование и преобразование сигнала производится в аналоговом входном каскаде. Последующая обработка сигнала и протоколов производится в цифровом виде. Часть цифровой обработки производится в аппаратных блоках (критичные ко времени задачи), а часть - в микропроцессоре ARM 7TDMI (некритичные ко времени задачи). Микропроцессор управляется аппаратно. Он одновременно выполняет обработку сигнала и обеспечивает протокол связи, содержащий в себе MAC уровень. Выходной интерфейс модема - последовательный полудуплексный асинхронный двухпроводной протокол SCI (линии TXD и RXD).

Из описания следует, что AMIS-49587 по своей структуре и принципу действия аналогичен и pin-to-pin совместим с модемом AMIS-30585, что позволяет использовать отладочный набор AMIS49587EVK для отладки системы управления на основе AMIS-30585.

4 Оценка экономической эффективности применения управляющего микроконтроллера

Стремительное развитие электроники и вычислительной техники явилось предпосылкой для широкой автоматизации самых разнообразных процессов в промышленности, в научных исследованиях и в быту.

В настоящее время весьма устойчивая тенденция на автоматизацию бытовой и промышленной техники коснулась и средств контроля за потреблением энергоресурсов. В продаже имеются большое количество разнообразных электросчетчиков, предназначенных для измерения потребления электроэнергии различных силовых сетях.

Большинство выпускаемых в настоящее время отечественной промышленностью цифровых электросчетчиков ориентированы на замену механических (индукционных) устройств и не поддерживают режимы удаленного доступа. Небольшое количество электросчетчиков с такой возможностью используют сеть Ethernet и различные варианты технологий беспроводного доступа (ZigBee, WiFi и пр.). Каждый из указанных вариантов имеет свои плюсы и минусы, поэтому эффективность их использования определяется в каждом конкретном случае.

Использование технологии PLC, предусматривающей передачу данных по силовым сетям 220 В является весьма перспективным вариантом с точки зрения стоимости используемого оборудования и организации канала передачи данных.

4.1 Выбор и обоснование базового варианта

Определение показателей экономической эффективности разработанного устройства базируется на сравнении его с базовым вариантом, адекватность которому является важнейшим фактором для определения количественных значений показателей эффективности. Следовательно, вопрос правильного выбора базового варианта имеет существенное значение для объективной оценки новых технических решений.

При выборе базы для сравнения необходимо руководствоваться двумя основными правилами:

- а) это может быть устройство, выполняющее те же основные функции, что

и разработанное;

б) должно быть выбрано современное и наиболее эффективное устройство. Только в этом случае, если показатели разработанного устройства выше, производство будет целесообразным.

На основании аналитического обзора, проведенного в первом разделе проекта и поиска по сети Интернет, можно сделать вывод, что наиболее подходящим в качестве базового объекта является выпускаемый ОАО «Утес» (Ульяновский приборостроительный завод) технологический модем «Меркурий 223М». Региональным дилером ОАО «Утес» является фирма «Инкотекс».

Технологический модем «Меркурий 223» (далее ТМ) используется для программирования счётчиков электрической энергии серий «Меркурий» и предназначен для применения в составе системы автоматизированного сбора данных по силовой сети «Меркурий – PLC».

Для связи с внешним миром ТМ имеет два интерфейса: технологический PLC-интерфейс, который используется собственно в процессе программирования счётчиков (выведен на розетку верхней крышки корпуса) компьютерный USB 1.1. Совместно с ТМ используется программа ТМcomm.exe.

Из сравнения разработанного управляющего контроллера и ТМ «Меркурий 223», можно отметить, что по сравнению с базовым объектом разработанное устройство обладает следующими преимуществами:

а) является функционально законченным устройством (счетчик электроэнергии с удаленным PLC доступом), в то время как ТМ является только технологическим модемом для передачи данных по сети 220 В;

б) имеет более высокую скорость передачи данных;

в) поддерживает режим внутрисхемного программирования ISP;

г) имеет более высокую надежность и технологичность благодаря использованию специализированных микросхем высокой степени интеграции.

Схемотехника и конструкция разработанного управляющего контроллера содержит современные радиокомпоненты и серийно выпускаемые модули, что обеспечивает преемственность технологии производства практически с любыми

видами радиоаппаратуры на интегральных микросхемах.

4.2 Расчет экономической эффективности

Расчет экономической эффективности будем вести исходя из предположения замены производства ТМ «Меркурий 223» на более эффективный разработанный управляющий микроконтроллер.

Для расчета затрат на производство необходимо выбрать завод-изготовитель, условия и технологическая оснащенность которого позволяют организовать выпуск разработанного устройства. На основании затрат на производство в выбранном цехе завода-изготовителя рассчитаем себестоимость и оптовую цену изделия.

На различных стадиях проектирования в зависимости от полноты исходной информации себестоимость изготовления может быть определена различными методами: по удельным весам, по типовой структуре производственных затрат, путем калькулирования и др.

Расчет себестоимости изделия путем калькулирования позволяет провести наиболее точный расчет цены управляющего контроллера. Сущность данного метода заключается в последовательном расчете статей калькуляции.

Как уже указывалось, базовое изделие выпускается в цехе №16 Ульяновского приборостроительного завода (ОАО «Утес»), структура производства которого соответствует мелкосерийному производству. Спроектированное изделие ориентировочно так же будет размещено в этом цехе.

Расчет себестоимости будем проводить исходя из сложившихся затрат по данному производству. Исходные данные для расчета представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для расчёта себестоимости

1	Зарплата дополнительная $Z_{доп}$	10% от $Z_{осн}$.
2	$TЗР_M$ по статье «Материалы»	8,4% (М)
3	$TЗР_П$ по статье «Полуфабрикаты»	7,3% (П)
4	Уровень расходов по содержанию и эксплуатации оборудования $У_{с.о.}$	12,2% от $Z_{осн}$
5	Процент отчислений в социальные нужды $У_c$	26% от $(Z_{осн} + Z_{доп})$
6	Уровень общезаводских расходов $У_{о.з.}$	66% от $Z_{осн}$
7	Уровень цеховых расходов $У_{цех}$	12% от $Z_{осн}$
8	Внепроизводственные расходы	5% от $C_{пр}$

9	Рентабельность	25% от $C_{п}$
---	----------------	----------------

4.2.1 Затраты по статье «Материалы основные»

Количество паек, общий расход материалов взяты из приведенных ниже документов по технологии изготовления и сборки управляющего контроллера.

Расчет затрат по статье «Материалы» приведен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Расчет затрат по статье «Материалы»

Наименование материалов	ГОСТ, ОСТ, ТУ	Кол-во паек, шт.	Норма на 1 пайку, кг	Цена за 1 кг (л), руб.	Вес, кг	Стоимость, руб.
Припой ПОС-61	21193-76	236	0,00007	330,0	0,017	5,452
Флюс ФСК	70033.200	236	0,00003	720,0	0,007	5,098
Спирт изопр.	5977-72	236	0,00001	133,7	0,002	0,316
Лак УР-231	6-10-1547	-	-	1180,0	0,01	11,80
Клей ВК-9 (ЭД-20)	4ГО.029	-	-	4200	0,003	12,6
Стеклотекстолит СФ-2 (100x160)	10316-78	-	-	105,0	-	105,0

Итого: 140,27

Припой ПОС-61 может быть заменен на аналогичный низкотемпературный припой с температурой плавления 260°C, а флюс ФСК - на любой флюс на основе древесной канифоли, не содержащий кислотных компонентов.

Указанные расходы материалов для пайки являются усредненными как для ручных способов, так и для групповых (окувание в расплавленный припой, пайка «волной» и др.).

Затраты по $TЗР_{м}$ по статье «Материалы основные» составят:

$$TЗР_{м} = 140,27 \cdot 0,084 = 11,78 \text{ руб.}$$

Итоговые затраты по данной статье составят:

$$M' = M + TЗР_{м} = 140,27 + 11,78 = 152,06 \text{ руб.}$$

4.2.2 Затраты по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»

Цены на радиокомпоненты взяты из on-line магазинов по Интернет-адресу www.eFind.ru. Расчет затрат приведен в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Расчет затрат по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»

Наименование	Кол-во, шт.	Цена, руб.	Стоимость, руб.
Резисторы RC2012	28	0,08	2,24
Конденсаторы GRM40	14	0,23	3,22
CC1818	5	8,24	41,20
Микросхемы			
MSP430FE427	1	230,00	230,00
AMIS-30585	1	480,00	480,00
NE5532	2	11,20	22,40
OPA561	1	182,00	182,00
Диоды 1N4007	2	1,03	2,06
Стабилитрон P6SMB6.8	2	3,20	6,40
Шунт SP-14D20A	1	26,0	26,0
Оптопара PC817C	1	2,70	2,70
Резонатор кварцевый HC-49	1	6,50	6,50
ЖК модуль SBLCDA2(T)	1	185,00	185,00
Транзисторы			
BC857	2	2,10	4,20
BC847	1	0,50	0,50
Трансформатор VTX-111	1	85,00	85,00
Модуль Flash AT45DB642	1	175,20	175,20
Разъем IDC2	6		72,00
Плата печатная (изготовление)	1	275,0	275,00

Итого

1801,22

Затраты на ТЗР_п по статье «Покупные изделия и полуфабрикаты»:

$$\text{ТЗР}_п = 1801,2 \cdot 0,073 = 131,49 \text{ руб.}$$

Итого затрат П' = П + ТЗР_п = 1932,69 руб.

4.2.3 Затраты по статье «Зарплата»

Процесс изготовления разработанного контроллера разбит на технологические операции, порядок и содержание которых определены в «Типовых технологических процессах изготовления радиоэлектронной аппаратуры».

Общемашиностроительные нормы времени («Сборник типовых норм») определяют разряд рабочего, выполняющего ту или иную технологическую операцию, и время на её выполнение.

Расход материалов определяется из «Типовых норм расхода материалов на электромонтажные работы».

Порядок технологических операций при изготовлении спроектированного контроллера приведен в таблице 4.4.

Таблица 4.4 - Данные по технологическим операциям

Вид работ	Разряд работ	Кол-во элем.	Время операции на 1 элемент	Общее время
Формовка выводов резисторов и конденсаторов	-	-	-	-
Формовка выводов аналоговых интегральных микросхем	3	3	0,00615	0,0185
Формовка выводов кварцевого резонатора	-	-	-	-
Формовка выводов стабилитронов, диодов, транзисторов	3	7	0,00416	0,0291
Обрезка выводов	3	44	0,00345	0,1518
Покрытие печатной платы флюсом. Площадь 1,6 дм ²	2	1 дм ²	0,0161	0,0258
Пайка печатных плат	3	236	0,00367	0,8661
Формовка и пайка проводов	3	12	0,01	0,12
Настройка устройства	5	3	-	0,42

Итого

1,63 часа

Данные таблицы 4.4 показывают, что время сборки печатной платы разработанного управляющего микроконтроллера однофазного электросчетчика с удаленным доступом по технологии PLC и ее настройка потребуют 3 человек разной квалификации и займет в общей сложности около 2 часов.

Полученные расчетные данные по статье «Зарплата основная» сведены в таблицу 4.5.

Таблица 4.5 - Затраты по статье «Зарплата основная»

Наименование технологической операции	Разряд рабочего	Трудоемкость операции, час	Тарифная ставка, руб./час	Премииальные доплаты, %	Общая стоимость работ, руб.
Формовка выводов резисторов и конденсаторов	3	-	-	-	-
Формовка выводов ИС	3	0,0185	51,30	23	1,167
Формовка выводов стабилитронов, диодов и транзисторов	3	0,0291	51,30	23	1,836
Обрезка выводов	3	0,1518	51,30	23	9,578

Продолжение таблицы 4.5

Наименование технологической операции	Разряд рабочего	Трудоемкость операции, час	Тарифная ставка, руб./час	Премииальные доплаты, %	Общая стоимость работ, руб.
Покрытие печатной платы флюсом	2	0,0258	35,42	22	1,115
Пайка печатной платы	3	0,8661	51,30	23	54,650
Формовка и пайка проводов	3	0,12	51,30	23	7,532
Настройка печатной платы	5	0,42	63,51	28	34,143
Покрытие плат лаком УР-231	2	0,1	35,42	22	4,357

Итого:

114,38

Зарплата дополнительная - это сумма доплат к основной зарплате за не проработанное, но оплачиваемое согласно Трудовому кодексу время: за отпуска, за выполнение гособязанностей, за сокращенный рабочий день и т.д.

$$Z_{\text{доп}} = 114,38 \cdot 0,1 = 11,44 \text{ руб.}$$

4.2.4 Отчисления и накладные расходы

Отчисления на социальное страхование (единый социальный налог):

$$O_{\text{сс}} = (Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}}) \cdot Y_{\text{сс}} / 100\% = (114,38 + 11,44) \cdot 26 / 100 = 32,71 \text{ руб.}$$

Накладные расходы на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$H_{\text{со}} = Z_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{со}} = 114,38 \cdot 0,122 = 13,95 \text{ руб.}$$

Накладные общецеховые расходы:

$$H_{\text{оц}} = Z_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{оц}} = 114,38 \cdot 0,12 = 13,73 \text{ руб.}$$

4.2.5 Себестоимость продукции

Цеховая себестоимость контроллера

$$C_{\text{ц}} = M' + \Pi' + Z_{\text{осн.}} + Z_{\text{доп.}} + O_{\text{сс}} + H_{\text{со}} + H_{\text{оц}} = 152,06 + 1932,69 + 114,38 + 11,44 + 32,71 + 13,95 + 13,73 = 2270,96 \text{ руб.}$$

Общезаводские расходы:

$$H_{\text{оз}} = Z_{\text{осн.}} \cdot Y_{\text{оз}} = 114,38 \cdot 0,66 = 75,49 \text{ руб.}$$

Производственная себестоимость контроллера:

$$C_{\text{пр}} = C_{\text{ц}} + H_{\text{оз}} = 2270,96 + 75,49 = 2346,45 \text{ руб.}$$

Внепроизводственные расходы:

$$B_{\text{пр}} = C_{\text{пр}} \cdot Y_{\text{впр}} = 2346,458 \cdot 0,05 = 117,32 \text{ руб.}$$

Полная себестоимость изделия. Включает производственную себестоимость $C_{пр}$ и внепроизводственные расходы $B_{пр}$:

$$C_{п} = C_2 = C_{пр} + B_{пр} = 2346,45 + 117,32 = 2463,77 \approx 2464 \text{ руб.}$$

Для комплексной технико-экономической оценки нового изделия рассчитаем его проектную оптовую цену $C_{опт}$. Она больше полной себестоимости на величину прибыли $Пр$, которая определяется в зависимости от установленного уровня рентабельности P в процентах от $C_{п}$.

$$C_{опт} = C_{п} + Пр = C_{п}(1+P) = 2463,77 \cdot 1,25 = 3079,72 \approx 3080 \text{ руб.}$$

4.2.6 Расчет экономического эффекта

Используя полученные данные, определим эффективность разработанного управляющего контроллера в сфере производства. Экономия условно-годовая в расчете на единицу составит:

$$\mathcal{E}_{г.у.пр.} = C_1 - C_2 = 3670 - 3080 = 590 \text{ руб.},$$

где

C_1 - себестоимость базового технологического модуля «Меркурий 223».

Выбранный в качестве изготовителя цех №16 ОАО «Утес» (Ульяновский приборостроительный завод) предназначен для мелкосерийного производства. Цех имеет универсальное контрольно-измерительное и технологическое оборудование. Аналогичность элементной базы, технологии производства и настройки, используемого технологического и испытательного оборудования, отсутствие специальных требований к квалификации персонала обеспечивают отсутствие капитальных затрат при замене выпускаемого ТМ «Меркурий 223» на разработанный управляющий микроконтроллер (как более эффективный).

В течение 2007-2010 г. программа выпуска ТМ «Меркурий 223» составляет $N = 3500$ штук. В случае сохранения объема выпускаемой продукции при указанной замене годовой экономический эффект составит

$$\mathcal{E}_{э.пр} = N \cdot (C_1 - C_2) = 3500 \cdot (3670 - 3080) = 2065 \text{ тысяч рублей.}$$

Опираясь на результаты расчетов можно сделать вывод о целесообразности производства разработанного управляющего МК и рекомендовать его для

замены менее эффективного ТМ «Меркурий 223».

На основании проведенных расчетов составим сводную аналитическую таблицу (таблица 4.6) со сравнительными характеристиками технических и экономических показателей базового ТМ и разработанного контроллера. Это позволит комплексно оценить качество предлагаемого устройства.

Таблица 4.6 - Основные технико-экономические показатели

Наименование показателя	Количественное значение		Оценка
	базовый вариант	разработ. вариант	
Показатели технического уровня			
1.1 Реализуемые функции			
- измерение расхода электроэнергии	нет	да	+
- удаленный доступ	да	да	0
1.2 Скорость передачи данных, кб\с	0,1	2,4	+
1.3 Подавление помехи 50 Гц, дБ	-170	-120	+
1.4 Внутрисхемное программирование ISP	нет	да	+
1.5 Наличие внешней Flash	нет	да	+
1.6 Отображение данных	нет	да	+
1.7 Напряжение питания, В	220	220	0
1.8 Нарботка на отказ, ч	30000	51000	+
Экономические показатели			
2.1 Трудоемкость изготовления, час.	1,34	1,63	-
2.2 Себестоимость изготовления, руб.	2780	2464	+
2.3 Оптовая цена, руб.	3800	3080	+

Приведенные в таблице 4.6 данные показывают, что разработанный датчик по основным показателям превосходит базовый образец. Это значит, что выпуск разработанного устройства будет эффективным.

На рисунке 4.1 приведена диаграмма, показывающая структуру затрат в полной себестоимости спроектированного управляющего микроконтроллера од-

нофазного электросчетчика автоматизированного учета с удаленным доступом.

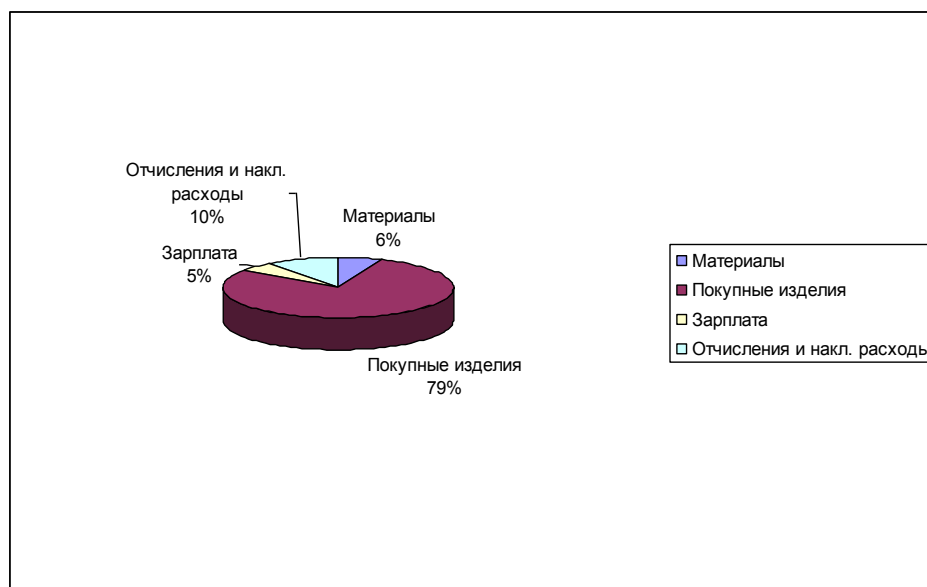


Рисунок 4.1 - Структура затрат в полной себестоимости устройства.

Из приведенной диаграммы видно, что наибольшую долю затрат в производственной себестоимости разработанного управляющего контроллера составляют затраты на покупные изделия и полуфабрикаты.

Заключение

Современные системы учета энергоресурсов обеспечивают значительное повышение точности измерения потребляемой энергии, проведение статистического анализа и предоставление отчетной информации форме, удобной для заказчика, значительное снижение эксплуатационных затрат энергораспределяющих компаний.

Проведенное исследование современного рынка счетчиков электрической энергии позволило определить структуру управляющих модулей электросчетчиков, выбрать тип датчиков и определиться с технологией, обеспечивающей удаленный доступ. Было показано, что технология PLC обеспечивает требуемые параметры канала передачи данных при минимальных затратах на ее практическую реализацию.

Основой разработанного управляющего контроллера является специализированный микроконтроллер MSP430FE427, который благодаря наличию в нем сигнального DSP процессора обеспечивает высокоточное измерение потребляемой электроэнергии.

В качестве основы PLC- модемов, обеспечивающих передачу данных по силовой сети 220 В, была выбрана недорогая микросхема AMIS-30585 компании ON Semiconductor, обеспечивающая требуемые технические параметры при скорости передачи до 2,4 кб\с.

В процессе работы рассмотрены вопросы калибровки электросчетчика с разработанным управляющим модулем, даны рекомендации по трассировке его печатной платы. Предложены средства отладки и программирования управляющего микроконтроллера и PLC-модема.

Проведенный расчет экономической эффективности подтвердил правильность выбранных технических решений и технологий.

Список литературы

1. Аганичев А., Панфилов Д., Плавич М. Цифровые счетчики электрической энергии // Chip News, 2000.- № 2. - С. 18–22.
2. Рожнов Е. Электронные счетчики электроэнергии. Новые электронные средства для учета электроэнергии // Электроника: НТБ, 1999. - № 1.
3. Принцип действия однофазного индукционного счетчика активной энергии//www.gigawatts.ru.
4. Измерительные трансформаторы тока и напряжения - конструкции, технические характеристики//www.click02.begun.r.
5. Счетчик ватт-часов активной энергии переменного тока электронный "Меркурий-203": Паспорт. – М.: ООО "Фирма Инотекс", 2003-12с.
6. Однофазные однотарифные счетчики электрической энергии СЭТ1//www.grpz.ru.
7. Электросчетчик "Лейне Электро-01" с ЖК индикатором: Руководство по эксплуатации //www.saranskpribor.ru.
8. ГОСТ Р 52320-2005. Аппаратура для измерения электрической энергии переменного тока. Общие требования, испытания и условия испытаний.
9. Рахтор Т.С. Цифровые измерения. АЦП/ЦАП. – М.: Техносфера, 2006.- 392 с.
10. MSP430FE42x. Mixed Signal Microcontroller – SLAS936//www.microcont-roller.ti.com.
11. Заборовский В., Подгурский Ю. Технологии и компоненты передачи данных по линиям электропитания// www.osp.ru.
12. Технология PLC и ее перспективы на российском рынке широкополосного абонентского доступа//www.sotovik.ru.
13. Родионов М. Новые компоненты SiLabs для 8 разрядных встраиваемых систем//Компоненты и технологии, 2006. - №6.
14. Технология PLC (Power Line Communication)\ \ www.network.xsp.ru.
15. Реммери Г Модем AVIS-3085 для передачи данных по силовым сетям зданий// Новости электроники, 2009. - №5. – С.14-17.

16. Митчел М. Выбор микроконтроллера со сверхнизким потреблением (s1aa207)//www.compel.ru.
17. Мортон Г. Сравнение микроконтроллеров семейства MSP430 с другими микроконтроллерами (s1aa205)// www.compel.ru.
18. Семенов Б.Ю. Микроконтроллеры MSP430: первое знакомство. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 128 с.
19. Семейство микроконтроллеров MSP430. Рекомендации по применению.- М.: ЗАО "Компэл", 2005.
20. Открытая графическая среда ECLIPSE//www.eclipse.org.
21. Среда разработки MSP-ССЕ430 - <http://www.ti.com/litv/zip/slac063c>.
22. Волков С.В. Видеодисплейные терминалы и здоровье пользователей. - М.: Медицина, 1989г.- 314с.
23. Демирчоглян Г.Г. Компьютер и здоровье. - М.: Советский спорт, 1995г. - 132с.
24. Добрынин А. Офисные мониторы // Мир ПК ,№ 10. – 1996.- С 23-27.
25. Гончаров Н.Р. Охрана труда на предприятиях связи. -М.: Связь, 1971.- 392с.
26. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры/ А.К.Быкадоров, Л.И.Кульбак, В.Ю.Лавриненко и др.; Под ред. В.Ю.Лавриненко.- М.: Высшая школа, 1978.- 320с.