

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
( **Н И У « Б е л Г У »** )

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

**Кафедра информационных и робототехнических систем**

**РАЗРАБОТКА ДИСТАНЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ  
ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**Магистерская диссертация студента**

**заочной формы обучения  
направления подготовки 09.04.02 Информационные системы и технологии  
2 курса группы 07001573  
Кузнецова Александра Александровича**

Научный руководитель  
к.ф.-м.н., доц., Л.В. Мигаль

Рецензент  
д.ф.-м.н., профессор Н.А. Чеканов

**БЕЛГОРОД 2018**

## РЕФЕРАТ

Разработка дистанционной системы определения погрешности измерения электрической энергии – Кузнецов Александр Александрович, магистерская диссертация. Белгород, Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ «БелГУ»), количество страниц 67, включая приложения 5, количество рисунков 15, количество таблиц 1, количество использованных источников 9.

**КЛЮЧИВЫЕ СЛОВА:** счётчик электроэнергии, автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии, дистанционная передача данных, микроконтроллер, источник питания, сеть.

**ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ:** технология ведения учета показаний электроэнергии.

**ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ:** точность измерения счётчика электроэнергии.

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** исследование показаний погрешности счётчика электроэнергии для повышения точности измерений.

**ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:** анализ оптового рынка электроэнергии; исследование факторов влияющих на процесс измерения счётчика электроэнергии; выбор метода повышения точности измерений; построение математической модели, разработка алгоритма корректировки показаний; разработка структурной схемы электрического счётчика; выбор аппаратной платформы и метода дистанционной передачи данных; разработка экспериментального образца; программная реализация алгоритма корректировки показаний.

**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ:** методы системного анализа, математическое моделирование, анализа и синтеза, метод использования адресации в машинном коде.

**ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ:** математическая модель определения погрешности счётчика электроэнергии, алгоритм корректировки показаний, структурная схема счётчика электроэнергии с дистанционным ведением учёта.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АСКУЭ - автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии

ОРЭ - оптового рынка электроэнергии

ТТ - трансформаторы тока

ТН - трансформаторы напряжения

ЭДС - Электродвижущая сила

СНГ - Содружество Независимых Государств

СИТ - средство измерительной техники

МХ - метрологические характеристики

МА - метрологическая аттестация

ВУ - вычислительное устройство

ВВ - влияющие величины

ЭТ - электрического такта

ИТ - измерительный трансформатор

ИК - измерительного комплекса

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	7
1.1 Виды и рынок счетчиков электроэнергии .....	7
1.2 Методы обеспечения высокой точности измерений.....	13
1.3 Структурные методы повышения точности.....	15
1.4 Постановка задачи.....	17
1.5 Заключение по разделу 1.....	18
2 АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ АСКУЭ.....	19
2.1 Анализ структуры АСКУЭ и принцип работы.....	19
2.2 Анализ и принцип дистанционной передачи данных АСКУЭ.....	21
2.3 Анализ метода вспомогательных измерений.....	25
2.4 Исследование факторов, влияющих на процесс измерения электрической энергии и мощности.....	29
2.5 Оценка влияния метрологических характеристик измерительных трансформаторов на погрешность измерений электрической энергии.....	31
2.6 Анализ и выбор алгоритма интерполяции.....	35
2.7 Разработка алгоритма корректировки результатов измерения.....	37
2.8 Анализ способов внедрения алгоритмов корректировки.....	39
2.9 Заключение по 2 разделу.....	41
3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И ВЫБОР АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ЭЛЕКТРОННОГО СЧЕТЧИКА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УЧЁТА ПОКАЗАНИЙ.....	43
3.1 Разработка структурной схемы электронного счётчика .....	43
3.2 Аппаратная платформа.....	45
3.3 Система дистанционного учёта показаний.....	50
3.4 Счётчик электроэнергии и его показания результатов.....	54
3.5 Программное обеспечение микроконтроллера.....	57

3.6 Программное обеспечение конфигулятора.....	59
3.7 Заключение по 3 разделу.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	69
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	70
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	71

## ВЕДЕНИЕ

Развитие оптового рынка электроэнергии (ОРЭ) в России зависит от эффективности внедрения субъектами ОРЭ автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) как основного инструмента контроля и учета вырабатываемой и распределенной между субъектами ОРЭ электроэнергии.

На эффективное решение такой задачи накладывает отпечаток текущее состояние метрологического обеспечения учета электроэнергии в России [1]. Прежде всего это связано со значительными погрешностями измерительных комплексов, в состав которых входят счетчики, измерительные трансформаторы тока (ТТ) и напряжения (ТН). Поэтому, при осуществлении единой государственной технической политики в области метрологического обеспечения учета электроэнергии, вопросы повышения точности измерения количества электроэнергии и внедрение методик корректировки результатов измерения погрешностей, вносимых трансформаторами тока при их низкой загрузке, является актуальной научно-практической задачей при построении АСКУЭ субъектами ОРЭ [2].

Для повышения точности измерения электроэнергии при внедрении АСКУЭ необходима разработка в установленном порядке алгоритмов оценивания погрешностей и корректировка результатов измерения, а одной из обязательных функций АСКУЭ должна быть функция наблюдения за погрешностью результатов измерений количества электроэнергии, распределяется на ОРЭ, осуществляемых, как правило, с помощью косвенных и совокупных измерений. Наиболее целесообразно осуществлять решения комплекса этих задач в рамках развития концепции «метрологического наблюдателя» по отношению к измерению электрической энергии и мощности с использованием АСКУЭ [3,6] и внедрения (модернизации) счетчиков электроэнергии, имеющих возможность корректировки результатов измерения.

# 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

## 1.1 Виды и рынок счетчиков электроэнергии

Счётчик электрической энергии - прибор для измерения расхода электроэнергии переменного или постоянного тока (обычно в кВт·ч или А·ч). Счетчик электрической энергии по своей конструкции представляет собой сочетание измерителя мощности (ваттметра) со счетным механизмом.

В счётчиках происходит преобразование аналоговых сигналов датчиков тока и напряжения в цифровые величины, на основании которых вычисляется мощность, потребляемая энергия и ряд других параметров. Все данные сохраняются в энергонезависимой памяти счётчиков.

Они бывают индукционные, электронные и гибридные. Индукционные (механические) счетчики электроэнергии из представленных на рынке – самые дешевые, качественные и простые. Но вытесняются из-за отдельных недостатков (отсутствие дистанционного автоматического снятия показаний, погрешности учета) электронными счетчиками.

В устройство индукционного прибора учёта заложены катушки, одна из которых тока, а другая – напряжения. Катушка тока имеет последовательное подключение, а катушка напряжения – параллельное. С помощью этих катушек образуется электромагнитное поле. Катушка тока имеет пропорциональный по силе тока электромагнитный поток, а катушка напряжения – пропорционально сетевого напряжения.

Электромагнитный поток заставляет алюминиевый диск вращаться, что соединён с механизмом счёта зубчатой и червячной передачей, приводя в движение счётный механизм, которым обладает индукционный счётчик электроэнергии.

Суть работы индукционных счетчиков электроэнергии, основан на таком принципе, когда на движущуюся деталь в одно время воздействует

крутящийся и затормаживающий момент. Данный момент имеет пропорцию величине учёта, момент торможения имеет пропорцию скорости раскрутки движущейся части. Индукционный однофазный счетчик электроэнергии представлен из нескольких элементов:

- катушки напряжения, что расположили на магнитопроводе;
- диск вращения из алюминия;
- передаточный механизм устройства учёта;
- катушки тока на магнитопроводе;
- постоянный магнит.

Катушка состоит из провода с большим сечением, которая выдержит большую нагрузку. Витки на катушки имеются в небольших количествах, обычно 13-30 витков. Они распределены в равномерном положении на двух стержнях магнитопровода, что имеет U-образную форму и состоит из электротехнической стали. Сердцевина работает для создания определённой концентрации магнитного потока, который пересекает счётный диск и вращает его.

Подсоединяется обмотка напряжения на фазу напряжения сети и всегда имеет рабочее состояние, наравне с потребителем, из-за этого она имеет название параллельной цепи. Катушка напряжения требуется для формирования магнитного потока, который будет пропорционален сетевому напряжению. Она имеет определённые конструктивные отличия от катушки тока тем, что имеет больше витков, около 8000 – 12 000, и имеет небольшое сечение проводника 0.1 – 0.15 мм<sup>2</sup>. В большом количестве витки создают более высокое индуктивное сопротивление, чем имеет активное сопротивление обмотки, что является довольно важным для соблюдения правила сдвига на 90° и даёт возможность уменьшить потребление электроэнергии на однофазном счётчике.

Магнитный поток катушки тока и катушки напряжения, что проходят по диску, образуют в нём трансформационные токи, за счёт чего создаётся вращающийся момент. Чтобы создать противодействующий момент,



который будет пропорционален скорости движения диска, нужно использовать постоянные тормозные магниты. Следовательно магнитный поток будет пересекать крутящийся диск из электропроводящего материала.

Образующиеся в диске токи сечения, всегда соблюдают скорость вращения пропорционально диску. То есть когда счётчик работает, он соблюдает определённую закономерность, чем большая мощность потребления, тем более быстро будет происходить вращение диска по его оси. Момент противодействия, что образуется при взаимодействии магнитного потока с дисковым током, всегда будет пропорционален скорости вращения. Когда диск проходит волну, что создаёт тормозной магнит, на нём наводится ЭДС сечения, что идёт от середины диска. Поточковая сила тормозного магнита при взаимодействии с током диска имеет прямую пропорциональность ЭДС сечения и имеет направление против движения диска. Замедляющий процесс зависит от дальности магнита от центра диска, определяется как произведение плеча на значение силы. То есть регулировка быстроты вращения происходит путём перемещения магнита, что позволяет настроить его в зависимости от передаточного числа.

Цифровые (электронные) счетчики электроэнергии – на порядок дороже, но гораздо удобнее для не обладающих техническими навыками пользователей, долговечнее (проверочный период 4-16 лет) и куда точнее в подсчете израсходованной электроэнергии.

Гибридные счетчики электроэнергии – редко используемый промежуточный вариант с цифровым интерфейсом, измерительной частью индукционного или электронного типа, механическим вычислительным устройством.

Счетчики также делятся на: однотарифные и многотарифные (до 48 тарифных планов), с обычной и упрощенной схемой снятия показаний (наличие импульсного выхода для дистанционного учета), с механическим отображением или цифровой индикацией показаний, на образцовые суперточные и обычные (по числовому эквиваленту уровня точности).

Однотарифные предназначены для учета активной электрической энергии в двухпроводных сетях переменного тока. Также они используются для передачи по линиям связи информативных данных на диспетчерский пункт информационно-измерительной системы регистрации потребления электрической энергии.

Многотарифные позволяют вести многотарифный учет активной энергии в двухпроводных сетях переменного тока. Они могут работать автономно, или входить в состав любых автоматизированных систем учета, в том числе с контролем потребления в соответствии с количеством предварительно оплаченной электрической энергии.

Счетчики обладают следующими функциональными характеристиками:

- измеряют активную мощность;
- регистрируют потребляемую энергию;
- отсчитывают время и календарную дату;
- используют вневременной штрафной тариф при несоблюдении потребителем условий договора с энергокомпанией;
- выводят на ЖКИ дисплей потребительские и служебные данные;
- допускают возможность настройки своих функций.
- поддерживают работу часов счётчика при отсутствии питания в течение одного часа
- набор исполняемых счётчиком функций задаётся его конфигурацией.

Счетчики применяются для учета потребленной активной электроэнергии в бытовом и мелкомоторном секторе, устанавливаются в помещениях или закрытых шкафах, имеющих дополнительную защиту от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды.

В последние 10 лет российский рынок счетчиков электричества развивался достаточно активно. Наиболее бурный рост рынка наблюдался в

2000-2004 годах, когда его объем увеличился в 5 раз и достиг 4.8 млн. шт. Темпы роста рынка в этот период составляли от 22 до 54% в год.

В 2009 году рынок характеризовался отрицательным приростом в - 5.1% (6.4 млн. шт.)

Факторами роста рынка стали:

- развитие сегмента электронных счетчиков электричества;
- увеличение стоимости и повышение значимости ее эффективного использования;
- развитие оптового и регионального рынка электроэнергии и, обусловленное этим, широкое внедрение средств АСКУЭ;
- реформирование и развитие инфраструктуры российской энергетики, появление новых обособленных подразделений и точек учета;
- появление новых управляющих структур и более эффективных собственников (как в "большой", так и коммунальной энергетике) в российской энергетической сфере в ряде стран СНГ;
- политика снижения перекрестного субсидирования жилищного сектора за счет промышленности и повышение важности полного и точного учета в быту;
- коммунальная реформа и развитие коммунальной энергетики;
- рост государственной поддержки отрасли. В частности, реализация программ по замене электросчетчиков.

Однако начиная с 2005 года рост рынка существенно замедлился. В 2005 году рынок показал прирост лишь в 1.6% и составил около 4.9 млн. шт., в 2006-2007 годах ситуация несколько выправилась и объем рынка увеличился на 9% и 18% (~ 5.3 и 6.3 млн. шт.), соответственно. В 2008 году в результате негативного влияния мирового финансово-экономического кризиса прирост рынка вновь сократился до 7.5% (~6.8 млн. шт.). В 2009 году, ситуация усугубилась завершением государственных программ по замене старых электросчетчиков и снижение объема рынка оказалось более

значительным и рынок характеризовался отрицательным приростом в -5.1% (6.4 млн. шт.).

Конкуренция на российском рынке счетчиков электричества носит олигопольный характер: 60% от всего объема рынка приходится на 2 крупнейшие компании – ОАО «Концерн Энергомера» и ООО «Инкотекс». При этом в последние годы наблюдается укрепление конкурентных позиций данных компаний – за период с 2005 по 2009 год рыночная доля ОАО «Концерн Энергомера» выросла с 27% до 41%, доля ООО «Инкотекс» – с 11% до 20%.

Помимо ОАО «Концерн Энергомера» и ООО «Инкотекс» к лидерам также относятся:

- ОАО «МЗЭП»;
- ОАО «ЛЭМЗ»;
- ФГУП «Нижегородский завод им. М.В. Фрунзе»;
- ВЗАО «АСЭН»;
- ФГУП «ГРПЗ».

Стоит отметить, что в сегменте электронных счетчиков до 2008 года, включительно, наблюдалось усиление конкуренции со стороны зарубежных производителей, которое, согласно прогнозам экспертов, возобновится после окончательного преодоления последствий кризиса.

На сегодняшний день на рынке представлено более 450 моделей счетчиков электричества российского и зарубежного производства, около 380 из которых – электронные (из них 260 – российские электросчетчики и 120 – импортные). В сегменте индукционных электросчетчиков предлагаются преимущественно отечественные приборы: 60 из 70 имеющихся на рынке индукционных счетчиков – продукция российских компаний.

Ассортимент предложения участников рынка может превышать 20 моделей. Наиболее широкую линейку продукции предлагают лидеры рынка – ОАО «Концерн Энергомера», ООО «НПК "Инкотекс"», ОАО «МЗЭП», ОАО «ЛЭМЗ», ФГУП «Нижегородский завод им. М.В. Фрунзе», ВЗАО «АСЭН» и

ФГУП «ГРПЗ». В среднем же, один игрок выпускает порядка 4-7 моделей счетчиков электричества.

Средняя стоимость однофазных электросчетчиков за последние выросла практически в 2 раза. Так, если в 2006 году однофазные индукционные счетчики производства ОАО «МЗЭП» стоили, в среднем, 395 руб., а электронные – 678 руб., то сейчас их цена составляет 780 и около 1 100-1 200 руб., соответственно. В сегменте трехфазным счетчиков подорожание было менее заметным – приблизительно с 1600 в 2006 году до 2300 в 2010 году. При этом основной прирост стоимости и того и другого типа электросчетчиков произошел до 2 полугодия 2008 года, после чего увеличение цен сдерживалось падением спроса.

Что касается разброса цен, то стоимость индукционных электросчетчиков российских компаний колеблется от 430 до 850 – для однофазных счетчиков и до 2 500 руб. – для трехфазных. Стоимость электронных счетчиков варьируется в пределах для однофазных от 590 до 2 500 руб. Для трехфазных от 1098 до 3400 руб. – однотарифные, от 1650 до 20 000 руб. – многотарифные.

Стоит отметить, что импортные счетчики электричества значительно превышают российские по цене, причем разница может достигать 1.5 и более раз.

## 1.2 Методы обеспечения высокой точности измерений

Статическая погрешность средств измерительной техники (СИТ) в реальных условиях эксплуатации является функция входной величины, равной разнице между реальной статической функцией преобразования СИТ в момент измерения и номинальной характеристикой преобразования СИТ.

Уменьшение погрешности СИТ, понимая ее так, как она определена выше, не является единственным путем уменьшения составляющей погрешности результата измерения, вызванной погрешностью СИТ. Других

путей уменьшения этой составляющей относятся, например, методы обработки (усреднения) выходных сигналов ЗСТ с целью исключения случайных погрешностей СИТ, слабо коррелированы, методы исключения постоянных погрешностей путем создания соответствующих условий измерения.

Методы обработки результатов, периодического сравнения и некоторые другие методы повышения точности результатов измерений, а не точности собственно измерительных устройств в последние годы часто реализуются конструктивно в виде единого автоматического СИТ или системы.

Стабилизация статической реальной функции преобразования СИТ достигается как конструктивными и технологическими методами (изготовлением СИТ из точных, стабильных и малошумных элементов, параметры которых мало подвержены различным воздействиям; применением в СИТ стабильных материалов; термостатированием, электрическим и магнитным экранированием СИТ или их элементов; стабилизацией питания; точной технологии и прочее), так и структурными методами. Методы повышения точности СИТ представлен на рисунке 1.1

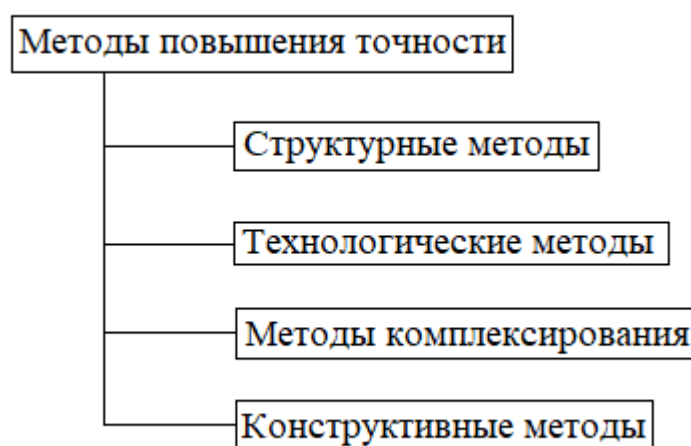


Рисунок 1.1 - Методы повышения точности СИТ

Наибольший интерес при повышении точности измерительных каналов АСКУЭ представляют структурные методы повышения их точности, позволяющие расширить диапазон и точность измерений без замены установленных на объектах средств измерительной техники.

### 1.3 Структурные методы повышения точности

В современных измерительных устройствах и системах все более широкое применение находят структурные методы стабилизации статической реальной функции преобразования СИТ и методы автоматической коррекции погрешностей СИТ. Поскольку основными источниками погрешности СИТ могут быть разнообразные факторы, методы повышения точности СИТ должны обеспечивать независимость статической реальной функции преобразования СИТ (или погрешности СИТ) от этих факторов.

Основным отличительным признаком методов автоматической коррекции погрешностей является обеспечение ими близости статической реальной функции преобразования СИТ номинальной характеристике преобразования путем изменения реальной функции преобразования СИТ под влиянием корректирующего сигнала, что соответствует разнице между реальной статической функцией преобразования СИТ и номинальной характеристикой преобразования, то есть соответствующего погрешности СИТ. Следовательно, одной из основных операций процесса автоматической коррекции погрешности СИТ является оценка этой погрешности и выработка соответствующего корректирующего сигнала.

Оценка погрешности СИТ может осуществляться экспериментально или расчетным путем. Наиболее общей является, экспериментальная оценка, потому что дает суммарную погрешность независимо от ее происхождения и свойств СИТ.

При расчетном определении погрешности с целью ее автоматической корректировки надо знать зависимость погрешности от факторов, которые ее вызывают, и, поскольку в процессе эксплуатации СИТ они могут меняться, необходимо систематически определять (измерять) эти факторы.

Экспериментально погрешность СИТ можно определять как на его входе, так и на его выходе.

Таким образом, корректирующий сигнал может вырабатываться при использовании одной из следующих трех процедур:

- измерение факторов, влияющих на результат измерения и расчет погрешности по известной для данного СИТ зависимости - метод вспомогательных измерений;
- измерение погрешности СИТ, приведенная к выходу - метод образцовых сигналов;
- измерение погрешности СИТ, приведенная к входу - метод обратного преобразования.

Каждый из приведенных методов автоматической коррекции погрешностей имеет свою целесообразную область применения.

Метод вспомогательных измерений имеет смысл применять для уменьшения погрешностей СИТ в тех случаях, когда составляющие погрешности, вызванные соответствующими факторами, существенно превышают другие составляющие. В частности, такая ситуация характерна для СИТ, которые работают в условиях достаточно широких изменений этих факторов. Если факторы не делают на погрешность СИТ доминирующего влияния, целесообразно применять другие, более универсальные методы.

Метод образцовых сигналов может применяться лишь в таких случаях, когда допускается прерывание режима измерения.

При любом из методов корректировки погрешностей может осуществляться путем самонастройки или автоматического введения поправок.



Системы автоматического ввода поправок с применением метода вспомогательных измерений позволяют обеспечить корректировку погрешности во всем диапазоне измерения СИТ независимо от вида статической реальной функции преобразования СИТ. Однако, эти системы обычно требуют более сложного оборудования, так как содержит вычислительное устройство и специализированные программные модули для расчета поправки по корректирующему сигналу и значением входной величины.

#### 1.4 Постановка задачи

Целью данной работы является исследование функционирования средств измерительной техники с возможностью корректировки результатов измерений электрической энергии и мощности с дистанционной передачей данных, а также сформировать основные технические решения по построению (модернизации) электронного счетчика электроэнергии. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать структуру АСКУЭ;
- проанализировать метода вспомогательных измерений;
- исследовать факторы, влияющие на процесс измерения электрической энергии и мощности;
- оценить влияние метрологических характеристик измерительных трансформаторов на погрешность измерений электрической энергии;
- проанализировать систематические погрешности измерительных трансформаторов тока и напряжения;
- исследовать метрологические характеристики измерительных трансформаторов с помощью метода интерполяции;
- разработать алгоритм корректировки в измерительных каналах АСКУЭ;
- разработать структурную схему электронного счетчика;

- применить алгоритм на нижнем уровне программирования;
- осуществить выбор аппаратной платформы для построения электронного счетчика электроэнергии с возможностью самостоятельно внедрять алгоритмы корректировки результатов измерения;
- разобрать алгоритм дистанционной передачи данных;
- рассмотреть программное обеспечение.

### 1.5 Заключение по разделу 1

Основные выводы и результаты, изложенные в первой главе диссертационной работы, заключаются в том, что при исследовании счетчика электроэнергии можно выделить несколько методов. Но наиболее точным методом повышения точности измерительных каналов АСКУЭ является структурный, позволяющий расширить диапазон и точность измерений, без замены установленных на объектах средств измерительной техники электроэнергии.

## 2 АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ АСКУЭ

### 2.1 Анализ структуры АСКУЭ и принцип работы

Типичная АСКУЭ представляет собой комплекс технических средств, является многоуровневой, строится по иерархическому принципу и содержит [4,6].

Измерительную подсистему нижнего уровня АСКУЭ, которая состоит из измерительных комплексов по каждому присоединению на основе использования микропроцессорных приборов, трансформаторов тока и напряжения, которая обеспечивает измерение и учет электроэнергии по каждой точке учета, измерения и контроль параметров электропотребления;

Вычислительная и коммуникационная подсистема среднего уровня АСКУЭ, состоящие из сервера, устройств учета, сбора и передачи данных, коммуникационного оборудования системы передачи данных, которые обеспечивают автоматизированный сбор, передачу, обработку и накопление данных о параметрах потоков электроэнергии, мощности.

Измерительный канал (ИК) состоит из измерительного комплекса (измерительные трансформаторы тока и напряжения, электронный счетчик), средств передачи данных, линии связи, локальной сети, сервера и специального программного обеспечения, автоматизированных рабочих мест.

Основное назначение системы контроля учета электроэнергии, то есть, ее принцип работы – это собрать данные по потребителям, как по мощности, так и по напряжению. После чего происходит обработка всех полученных данных, на основе которых составляется отчет. Обязательно проводится анализ и прогноз на следующие периоды. Но самое важное – это

анализ стоимостных параметров и вывод цены за потребляемую электроэнергию.

Поэтому чтобы система работала именно по такому принципу, необходимо:

- во всех точках потребления электрического тока установить самые точные и современные средства учета – электронные счетчики;
- все полученные от счетчиков сигналы (цифровые) собирать в специальных блоках – сумматорах, с большой памятью;
- обязательно обвязать систему связью, с помощью которой отчеты будут отправляться вниз потребителям и вверх подотчетным организациям;
- организовать центры, которые будут обрабатывать полученные данные, для чего их необходимо оснастить современными компьютерами и программными обеспечениями.

Рассмотрим отдельно каждый из уровней.

Приборами первого уровня являются обычные счетчики (электронные или индукционные), которые стоят у потребителя. Кроме счетчиков можно использовать специальные датчики, которые подключаются через интерфейс компьютера или через аналого-цифровые преобразователи.

Второй уровень это связующий уровень системы, на линии которого размещены различного типа контроллеров, обеспечивающих транспортировку данных (сигнала). Чаще всего эту роль выполняет преобразователь, который изменяет электронный сигнал от RS 485 на RS 232, идущий на персональный компьютер. Именно преобразованный сигнал может считывать компьютерная программа.

В третьем уровне собирается, обрабатывается, анализируется и хранится вся информация системы АСКУЭ. Основное требование к этому уровню – обеспечение специальной современной программой для настройки системы в целом.

Необходимо отметить, что все электронные счетчики, используемые для учета потребления электрического тока, оборудованы таким образом,

чтобы подключиться к АСКУЭ. Есть еще предыдущие модели, в которых данная функция отсутствует. Так как для таких счетчиков можно дополнительно установить оптический порт, который будет считывать информацию и передавать ее на вычислительное устройство (установка порта может производиться уже на действующем модели).

Нежелательно прибегать к тому, что только электронные счетчики могут быть использованы в системах АСКУЭ. Хотя они и являются основными. Нужно обратить внимание на маркировку любого индукционного счетчика. Если в ней есть буква «Д», то и эти приборы пригодны для системы контроля. Суть в том, что в конструкции этого типа устройств установлен импульсный датчик с телеметрическим выходом. Именно он и обеспечивает передачу информации по двухпроводной линии связи.

Использование устаревшей модели индукционного счетчика нецелесообразно, потому что увязывать их с современными АСКУЭ становится все сложнее и сложнее. Конечно, можно провести ряд подключений и обеспечить сеть современными приборами, которые преобразовывают информацию до интерфейса RS 232. Можно установить современный электронный прибор учета, и этим решить все проблемы. А индукционные модели можно использовать для учета локальных участков. На рисунке 2.1

## 2.2 Анализ и принцип дистанционной передачи данных АСКУЭ

При установке в жилом помещении счетчики, обладающие функцией автоматической дистанционной передачи данных, жильцы получают много преимуществ. Преимущество системы для жителей это решение спорных ситуаций – данные могут записываться в память счетчика каждый день. Схема передачи данных позволит исключить конфликтные ситуации, при проблеме с квитанциями или передачи информации абонентом при несвоевременной подачи показаний.

Контроль показаний – прибор предоставляет возможность считывать показатели с мест, при несвоевременной подачи показаний.

Точность расчета во время переключения тарифа – показания по дате изменения тарифа отсутствуют, при начислении энергетические компании, из средних показателей данных. В основном, подсчет осуществляется в пользу компании. Использование счетчика электроэнергии с функцией дистанционной передачи позволяет избежать подобных проблем;

С автоматической системой подсчета будет удобен счетчик для жителей, которые используют разные тарифов учета электроэнергии работа счетчика с дистанционным контролем – оборудование можно использовать для предварительного показания для жильцов. Достаточно подключить функцию которая будет вовремя напоминать и фиксировать расчёт электроэнергии. Для этого потребуется смартфон или персональный компьютер.

Безопасность – если владелец жилья забывает отключить приборы которые потребляют электричество, например, телевизор или утюг, можно не возвращаться домой. Достаточно обесточить квартиру, удаленно отключив счетчик.

Практичность и экономия времени – жителю не нужно тратить время и усилия на снятие показаний, очереди у касс или передачу информации с помощью привычных способов.

Компания может отключить дистанционно потребителя от электроэнергии

Оборудование, предназначенное для счета электрической энергии, представляет собой преобразователь, который преобразует аналоговый сигнал в импульсную частоту. При подсчете этих импульсов вычисляется объем потребляемой электроэнергии.

В случае если сопоставлять электрические оборудование с приборами индуктивного типа, то отличия затрагивают не только внутреннее строение, при котором отсутствуют механические вращающиеся элементы. Характерной чертой нынешнего счетчика электрического типа является широкие дополнительные возможности.

Главной отличительной чертой является расширенный функционал:

- увеличенный интервал времени для входного напряжения;
- удобная организация систем многотарифного учета;
- наличие порядка просмотра показателей за прошедшие месяцы;
- возможность измерения потребляемой мощности;
- возможность подсоединения к системам автоматического снятия

и передачи данных.

В взаимоотношении конструкционной структуры современный счетчик электронного типа представляет собой корпус, оснащенный измерительным трансформатором тока, кремниевой колодкой, а также микросхемы. Последняя служит базой для монтажа электронной составляющей прибора.

Собственник жилья способен обесточить квартиру, удаленно отключив электросчетчик.

Система современного счетчика электронного типа состоит из следующих элементов:

- трансформатора тока;
- дисплея ЖКИ;
- часов, отображающих реальное время;
- органов, осуществляющих контроль и управление;
- телеметрического выхода;
- источника питания, предназначенного для обслуживания электронной схемы;
- оптического порта, который может быть установлен опционально;
- супервизора.

Дисплей ЖКИ считается буквенно-цифровым индикатором многозарядного типа. Его главная роль заключается в индикации рабочих

режимов счетчика. Кроме данного элемента отображает информацию об гальванической энергии, текущее время, а кроме того дату.

Источник питания обеспечивает напряжение на микроконтроллере и других составляющих, установленных в электронной схеме. Напрямую к нему подключен супервизор, формирующий сигнал сброса для микроконтроллера, возникающий, когда происходит отключение или включение питания. Кроме этого программа отслеживает изменения входного напряжения.

На дисплее счетчика отображается количество использованной электроэнергии, время и дата

Часы, отображающие реальное время, используются с целью учета даты и текущего времени. В отдельных модификациях счетчиков такую опцию осуществляет микроконтроллер. С целью уменьшения нагрузки на данный элемент, чаще всего для подобных целей предусмотрено наличие отдельной микросхемы. Она экономит потребление мощности микроконтроллера, направляя данную энергию на реализацию более важных задач.

С помощью телеметрического выхода счетчик подключается к индивидуальному ПК или систему дистанционной передачи данных. Оптический порт предназначен с целью снятия показаний непосредственно с учетного устройства.

Наиболее значимой частью прибора является микроконтроллер. Он выполняет значительную долю функций:

- преобразование входного сигнала, проходящего от трансформатора тока, в цифровые данные;
- математическая обработка данных;
- вывод результата на экран;
- прием команд с управляющих сигналов микроконтроллера;
- управление интерфейсами.



Устройство способно выключаться, в случае если превышен назначенный лимит энергии

Перечень функций микроконтроллера зависит с установленного программного кода. На сегодняшний день используется активная работа по совершенствованию такого оснащения, которое заключается в добавлении добавочных функций. К подобным опциям относится возможность реализовывать контроль состояния электросети, передавая при этом показания в диспетчерский центр.

Нередко в счетчиках предусмотрена функция, позволяющая сдерживать уровень мощности сети. В случае если потребитель превышает потребляемую мощность, устройство автоматически прекращает доступ к сети. Данная концепция функционирует за счет контактора, осуществляющий контроль подачи напряжения. Устройство способно так же выключаться, если потребитель превышает назначенный лимит энергии, либо заканчиваются prepaid средства за электричество. С целью подключения автоматизированной учетной системы, в большинстве счетчиков электронного типа установлен модуль

Автоматизированные системы, предназначенные с целью контроля учетных сведений по электрической энергии, разработаны вследствие возникновению микропроцессоров по доступной цене. Стоимость данных устройств была сравнительно доступной, по этой причине монтаж такого оборудования могли себе позволить только лишь большие компании промышленного сектора.

С открытием электронных счетчиков и персональных компьютеров, автоматизированные системы учета значительный этап вперед. Благодаря введению сотовой связи были созданы системы беспроводного типа.

Автоматизированные учетные системы осуществляют последующие функции:

- сбор потоков гальванической энергии за разумный промежуток времени на всех уровнях напряжения;

- обработка полученных данных;
- формирование сведений по отпущенной или потребленной электрической энергии;
- анализ и моделирование по генерации потребления;
- обработка показателей оплаты;
- выполнение расчетов по электрической энергии.

Для передачи сведений со счетчика применяется система связи GSM

Чтобы осуществить систему автоматизированного учета, необходимо, реализовать установку высокоточного учетного оборудования. С целью этого электронные счетчики формируются в точках учета электроэнергии. Предоставить цифровую информацию в блоки с интегрированной памятью. Они называются «сумматорами». Создать систему связи, к примеру, GSM. Она станет применяться для передачи данных. Создать центры с целью обработки данных и укомплектовать их компьютерами с соответствующим ПО.

Замер расхода электроэнергии в счетчиках, дистанционно передающих показатели, осуществляется каждый час.

Процесс предоставления данных осуществляется с отсутствием абонента. На него возлагается только обязанность передачи первого показателя. Данные сведения необходимо сообщать до тех пор, пока изготовитель не вышлет уведомление о том, что больше не имеет потребности в этом. Замер расхода электричества в аналогичных счетчиках выполняется каждый час. Раз в сутки полученные сведения отправляется в контролируемую компанию. В отдельных моделях применяется мобильная связь.

Простейшие системы автоматизированной передачи сведений реализовывают свою работу постепенно:

- получение данных;
- транспортировка сведений;
- исследование полученных данных, и ее дальнейшее хранение.

В роли основных участников первого этапа выступают устройства, выполняющие измерение характеристик системы, и собственно сами электросчетчики. К категории измерительных устройств относятся всевозможные датчики, которые подсоединены к системе через аналоговых цифровых преобразователей или оборудованы выходом, используемым для подключения интерфейса.

Автоматизированная система составляет сведения, исследует их и сохраняет на сервере. Линия интерфейса, применяется с целью передачи информационного сигнала, содержит входное сопротивление 12 Ом. Поскольку мощностные возможности передатчика урезаны, аналогичные ограничения налагаются и на количество приборов-приемников, которые подсоединяются к этой линии. Наибольшее число датчиков, на которое рассчитана работа приемника, равна 32 шт.

На второй стадии в работу вступают контроллеры, транспортирующие сигнал среди линиями интерфейса. Эта процедура нужна для считывания данных контроллером или компьютером. Если в соединении присутствует более 32 датчиков, то в системе формируют концентраторы.

На третьем этапе задействован компьютер, сервер и контроллер, которые собирают данные, рассматривают их и сохраняют. Система обязательно должна иметь соответствующее программное обеспечение, позволяющее выполнять ее настройку.

Для передачи данных удаленно используют как электронные, так и индукционные устройства.

Электросчетчики индукционного типа и автоматические системы передачи данных в дистанционном режиме могут применяться не только электронные приборы. Индукционные устройства, маркируемые буквой «Д», оснащены телеметрическим выходом. По сути, этот выход представляет собой импульсный датчик. К категории подобных устройств можно отнести модель СРЗУ-И670Д. За счет импульсного датчика в рамках двухпроводной линии связи осуществляется передача информации в систему, собирающую и

обрабатывающую данные. Информация содержит данные по активной электроэнергии, которая проходит через прибор.

Источником импульсов является измерительный трансформатор. Он излучает магнитный поток, пересекающий металлический сектор, надетого на ось алюминиевого диска. После выполняется передача этих импульсов на схему датчика, а после этого на линию связи, которая питает этот датчик.

На импульсном датчике установлена фотосветодиодная головка. Она представляет собой пару, состоящую из светодиода и фотодиода. Датчик внутри электросчетчика имеет специфичное расположение. Приспособление установлено таким образом, чтобы головка была обращена в сторону алюминиевого диска. Световой диод источает сигнал, который отражается диском, а затем его принимает фотодиод. Затемненный сектор на диске обеспечивает прерывистость сигнала.

Эти прерывания отслеживаются электронной схемой, преобразовываются и подаются на линию связи в виде очередности импульсов. Далее их получает приемное устройство, осуществляет расчет количества за определенный период времени и отображает результат на экран. Для электросчетчиков с дистанционным считыванием сведений нужно бесперебойное подключение к сети

Теоретически описанная ранее система с индукционным счетчиком возможна, однако на практике в ней нет смысла. Подобные приборы постепенно изымаются из эксплуатации и заменяются электронными. Исключением являются локально размещенное учетное оборудование.

Электронные устройства в отношении создания автоматизированных систем передачи показаний обладают значительными преимуществами, которые обуславливаются информационной составляющей и обширными сервисными возможностями.

К недостаткам подобного оборудования относится необходимость постоянного подключения к сети. При отъезде на длительное время нельзя использовать предохранитель для отключения счетчика. Для этого

предназначен специальный выключатель. Исключающим фактором является проведение электромонтажных работ. В остальном эксплуатация электронных счетчиков, самостоятельно передающих показания, сопровождается преимуществами для пользователя.

### 2.3 Анализ метода вспомогательных измерений

Сущность этого метода заключается в том, что с помощью вспомогательных устройств измеряются воздействия  $\xi_1 - \xi_n$  и проводится расчет погрешности измерения  $\Delta$  по известным для данного прибора зависимости  $\Delta = \varphi(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ .

Блок-схема цифрового прибора с автоматической коррекцией погрешности методом вспомогательных измерений представлена на рисунке 2.1

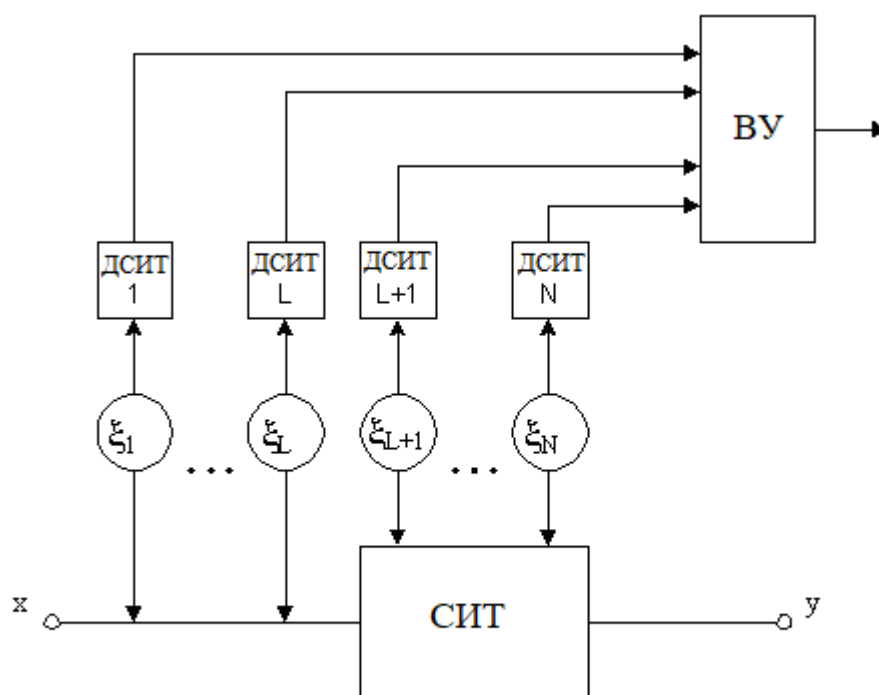


Рисунок 2.1 - Структурная схема СИТ с автоматической коррекцией погрешности по методу вспомогательных измерений

Факторы  $\xi_1-\xi_n$ , влияющие на результаты измерений, измеряются вспомогательными средствами измерительной техники ДСИТ<sub>1</sub>-ДСИТ<sub>п</sub>, выходные сигналы которых поступают в вычислительное устройство, что производит соответствующий корректирующий сигнал  $W$ . В памяти устройства заложены номинальные значения факторов  $\xi_{\text{номи}}$ . Корректирующие сигналы определяются в результате вычисления  $\xi_i - \xi_{\text{номи}} = \Delta\xi_i$ . По полученным разностям в ВУ, вычисляется изменение реальной статической передаточной функции прибора, что необходимо для исключения погрешности, обусловленной этими разностями. Найден корректирующий сигнал  $W$  далее используется для управления параметрами схемы прибора или для введения поправки в выходной сигнал.

Из краткого описания метода вспомогательных измерений видно, что он обладает такими специфическими особенностями:

- корректируется не суммарная погрешность СИТ, а только ее составляющая, обусловленная различием факторов  $\xi$  от своих номинальных значений.
- для измерения каждого фактора  $\xi_i$ , влияние изменений которого корректируется, необходим отдельный средство измерительной техники.
- необходимо знать функцию  $\psi(\xi)$  зависимости погрешности СИТ от совместного действия всех факторов  $\xi$ , влияние которых корректируется.
- необходим вычислительное устройство (ВУ), который по результатам измерения факторов  $\xi$  вычисляет значение функции  $\psi(\xi)$ .
- измерения и корректировки производятся одновременно и непрерывно по различным каналам; рабочий диапазон СИТ, корректируется, не зависит от характеристик системы корректировки.

Как отмечалось выше, в состав системы корректировки, работающий по методу вспомогательных измерений, обязательно входит вычислительное устройство. С другой стороны, также отмечалось, что автоматическое введение поправки принципиально позволяет лучше осуществить корректировку, чем самонастройки, поскольку качество такой корректировки

не зависит от нелинейности статической функции преобразования СИТ; при этом нужен вычислительное устройство. Поэтому при реализации метода вспомогательных измерений в общем случае, очевидно, предпочтительнее применять системы автоматического введения поправок.

## 2.4 Исследование факторов, влияющих на процесс измерения электрической энергии и мощности

В соответствии с ГОСТ 26.203-81, обработка измерительной информации, необходимой при получении результатов, в том числе и косвенных измерений, должна сопровождаться оценкой точности результатов.

Для обеспечения достаточной точности предоставления измерительной информации в автоматизированных системах учета электроэнергии (АСКУЭ) необходимо осуществлять контроль параметров объекта учета и влияющих на него величин.

Параметрами объекта учета являются: ток, напряжение и коэффициент мощности. К влияющим величинам относятся частота сети, температура окружающей среды, падение напряжения в линии и вторичное нагрзуки трансформаторов тока и напряжения.

Оценка погрешностей должна осуществляться исключительно с учетом метрологических характеристик (МХ) ТС и ТН и с учетом действия влияющих величин.

В соответствии с РД 34.11.114-98 предел допускаемой погрешности  $\delta_w$  измерительного канала при измерении электроэнергии вычисляют по формуле:

$$\delta_w = \pm 1.1 \sqrt{\delta_{ТС}^2 + \delta_{ТН}^2 + \delta_{\theta}^2 + \delta_{w_{\text{вт}}}^2 + \delta_{MPЭ}^2 + \delta_{\lambda}^2 + \delta_{\tau}^2 + \sum_{r=1}^l \delta_i^2(\xi_r)} \quad (2.1)$$

где  $\delta_{ТС}$ ,  $\delta_{ТН}$  - соответственно относительные погрешности ТС и ТН в заданной точке измерения, определенные по данным паспортов или свидетельств об их государственной метрологической аттестации (МА);

$\delta_{\theta}$  - относительная погрешность измерения электроэнергии при  $i$ -ом нагрузке, вызванной угловыми погрешностями ТТ и ТН;

$\delta(\xi r)$  - вероятные систематические относительные погрешности, обусловленные  $r$ -мы влияющими величинами (ВВ);

$\delta W_{эт}$  - относительная погрешность электрического тракта (ЭТ) измерительного канала электрической энергии (измерительного комплекса).

## 2.5 Оценка влияния метрологических характеристик измерительных трансформаторов на погрешность измерений электрической энергии

В измерительный комплекс средств учета электроэнергии входят измерительные трансформаторы тока (ТТ), трансформаторы напряжения (ТН), линии соединения и счетчики. Все элементы вносят свою долю в погрешность ИК.

Предел допускаемой погрешности ВК, без учета дополнительных погрешностей от факторов, влияющих на счетчик, определяется по формуле

$$\delta_w = \pm 1.1 \sqrt{\delta_I^2 + \delta_U^2 + \delta_{\theta}^2 + \delta_{Л}^2 + \delta_{CO}^2} \quad (2.2)$$

В формуле (2.2) предполагается, что все составляющие погрешности ВК носят случайный характер. Однако, погрешности ТС и ТН носят систематический характер, и поэтому они должны выноситься за знак корня и учитываться с учетом знаков погрешностей.

Угол между током и напряжением на вторичной стороне измерительных трансформаторов (ИТ) равен углу между током и напряжением на первичной стороне в ИТ через угловые погрешности ИТ, что



приводит к появлению составляющей погрешности  $\delta\theta$  измерений электроэнергии и мощности трансформаторной схемы подключения счетчика.

Погрешность трансформаторной схемы подключения счетчика для активной энергии с учетом знаков угловых погрешностей ИТ определяется по формуле

$$\delta_{\theta} = 0,0291 \cdot \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \cdot \theta_{\theta} \quad (2.3)$$

где 0,0291 – коэффициент перевода мин. в советов.;

$\varphi$  – угол между первичным током  $I_1$  и первичным напряжением  $U_1$ , что характеризует коэффициент мощности  $\cos\varphi$  контролируемого присоединения;

$$\theta_{\theta} = \theta_I - \theta_U;$$

$\theta_I$  – угловая погрешность ТТ, мин;

$\theta_U$  – угловая погрешность ТН, мин.

Систематическая погрешность ВТ определяется как сумма систематических: токовой погрешности ТС  $\theta_{\theta I}$ , погрешности напряжения ТН  $\theta_{\theta U}$  и погрешности трансформаторной схемы подключения счетчика  $\theta_{\theta}$  (через угловые погрешности ТТ и ТН).

$$\Theta_{ИТ} = \theta_I + \theta_U + \theta_{\theta}, \quad (2.4)$$

где  $\Theta_{ИТ}$  - систематическая погрешность, вызванная ИТ.

В таблице 2.1 приведены результаты расчета погрешности  $\Theta_{ИТ}$  ИТ для класса точности 0,5 при угловой погрешности ТН  $\theta_U$  минус 20 мин и плюс 20 мин, что соответствует пределам допустимой угловой погрешности ТН для класса точности 0,5 по ГОСТ 1983-2001.

Таблица 2.1 - Погрешность  $\theta_{ИТ}$  для ИТ класса точности 0,5

$I_1, \%$ $\% I_n$	$\theta_I, \%$	$\theta_{\theta I},$ мин	$\theta_U, \%$	$\theta_{\theta U},$ мин	$\theta_{\theta}, \%$ , при $\cos\phi$				$\Theta_{ИТ}, \%$ , при $\cos\phi$			
					1	0,8	0,5	0,25	1	0,8	0,5	0,25
5	-1,50	90	-0,5	-20	0	2,40	5,5	12,4	-2,00	0,4	3,54	10,4
20	-0,75	45	-0,5	-20	0	1,42	3,3	7,3	-1,25	0,17	2,03	6,08
100	-0,5	30	-0,5	-20	0	1,09	2,5	5,6	-1,00	0,09	1,52	4,64
120	-0,5	30	-0,5	-20	0	1,09	2,5	5,6	-1,00	0,09	1,52	4,64
5	-1,5	90	-0,5	20	0	1,53	3,5	7,9	-2,00	-0,47	1,53	5,89
20	-0,75	45	-0,5	20	0	0,55	1,3	2,8	-1,25	-0,7	0,01	1,57
100	-0,5	30	-0,5	20	0	0,22	0,5	1,1	-1,00	-0,78	-0,50	0,13
120	-0,5	30	-0,5	20	0	0,22	0,5	1,1	-1,00	-0,78	-0,50	0,13

В настоящее время ТС в основном работают при недогрузке по первичному току. Большие погрешности ТС при малых первичных токах приводят к значительной погрешности всего ИК.

Таким образом угловые погрешности ИТ очень влияют на погрешность измерительного комплекса средств учета активной электрической энергии и при малых первичных токах погрешность трансформаторной схемы подключения счетчика  $\delta_{\theta}$  для активной энергии, вызванной угловыми погрешностями ИТ, является определяющим фактором в общей погрешности ИК.

При малых первичных токах положительная угловая погрешность ТС  $\theta_I$  приводит к положительной погрешности трансформаторной схемы подключения счетчика  $\delta_{\theta}$  для активной энергии, что превышает в несколько раз токовую погрешность ТС  $\delta_I$  и погрешность напряжения ТН  $\delta_U$ .

При применении ТС классов точности 0,2 S и 0,5 S погрешность трансформаторной схемы подключения счетчика  $\delta_{\theta}$  меньше в несколько раз, чем при применении ТС класса точности 0,5 и 1.

Для уменьшения погрешности измерений мощности и электроэнергии необходимо использовать ТТ классов точности 0,2 S и 0,5 S особенно при малых первичных токах присоединения.

Для повышения точности измерения ИК целесообразно осуществлять это путем корректировки результатов измерения, исключая систематические погрешности ТТ при малых токах потребления.

## 2.6 Анализ и выбор алгоритма интерполяции

При определении амплитудных и угловых погрешностей измерительных трансформаторов приходится сталкиваться с необходимостью вычисления значений функции  $y = f(x)$  в точках  $x$ , отличных от значений аргумента, фиксированных в таблице. Подобные задачи практики формализуются как математические задачи интерполяции.

Геометрически задача интерполирования для функции одной переменной  $y = f(x)$  означает построение кривой, проходящей через точки плоскости с координатами  $(x_0; y_0), (x_1; y_1), \dots, (x_n; y_n)$  как показано на рисунке 2.2. Однако уже из рисунка ясно, что через данные точки можно провести множество различных кривых. Таким образом, задача поиска функции  $f(x)$  по конечному числу ее значений слишком неопределенная.

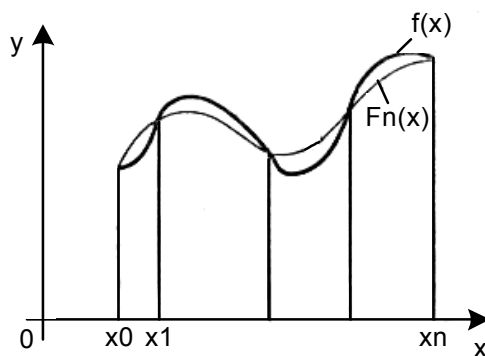


Рисунок 2.2 - Пример геометрического решения задачи интерполяции

Эта задача становится однозначной, если в качестве интерпретированной функции  $F(x)$  для функции  $y = f(x)$ , заданной в  $(n+1)$

своими значениями, выбрать многочлен  $F_n(x)$  степени не выше  $n$ , такой, что как в формуле 2.5

$$F_n(x_0) = y_0, F_n(x_1) = y_1, \dots, F_n(x_n) = y_n. \quad (2.5)$$

Многочлен  $F_n(x)$ , удовлетворяющий этим условиям, называют интерполяционным многочленом, а формулы - интерполяционными формулами.

При интерполяции возникает ряд задач:

- выбор наиболее удобного способа построения интерполяционной функции для каждого конкретного случая;
- оценка погрешности при замене  $f(x)$  интерпретированной функцией  $F(x)$  на отрезке  $[a; b]$ , поскольку функции  $F(x)$  и  $f(x)$  совпадают только в узлах интерполяции  $x_0, x_1, \dots, x_n$ ;
- оптимальный выбор узлов интерполяции для получения минимальной погрешности.

Повышение точности интерполяции требует увеличения узлов интерполяции. Это приведет к увеличению степени интерполяционных многочленов. Но в условиях отсутствия дополнительной информации о таблично заданную функцию последние дают значительную погрешность. В этом случае более эффективным является использование сплайнов, которые на промежутке между узлами интерполяции являются полиномами невысокой степени. На всем промежутке интерполяции  $[a; b]$  сплайн - это функция, составленная из разных частей полиномов.

Сплайн - это определенная в некоторой области  $[a; b]$  кусочно-полиномиальная функция.

Таким образом, согласно определению существует разбиение области  $[a; b]$  на подобласти такое, что внутри каждой подобласти сплайн представляет собой полином некоторой степени  $m$ . Интерполяция с помощью сплайнов называется сплайн-интерполяцией.

Линейный сплайн - это ломаная, которая проходит через узлы интерполяции. Уравнение ломаной для  $x[x_i; x_{i+1}]$

$$S_i(x) = \frac{x - x_i}{x_{i+1} - x_i} (y_{i+1} - y_i) + y_i \quad (2.6)$$

Определение метрологических характеристик трансформаторов тока производят для пяти значений  $I_n, \%$ : 1, 5, 20, 100, 120.

Составим систему уравнений для нахождения конкретного значения погрешности, что соответствует определенному значению  $I_n, \%$ .

$$y = \begin{cases} \frac{x - 1}{4} (y_2 - y_1) + y_1, & \text{при } 5 < x < 1; \\ \frac{x - 5}{15} (y_3 - y_2) + y_2, & \text{при } 20 < x < 5; \\ \frac{x - 20}{80} (y_4 - y_3) + y_3, & \text{при } 100 < x < 20; \\ \frac{x - 100}{20} (y_5 - y_4) + y_4, & \text{при } 120 < x < 100. \end{cases} \quad (2.7)$$

Значение  $y_i$  определяются по результатам метрологической аттестации измерительных трансформаторов в качестве индивидуальных метрологических характеристик.

## 2.7 Разработка алгоритма корректировки результатов измерения

Прежде чем начать синтез структурной схемы проектируемого устройства необходимо четко определить, по какому алгоритму оно должно работать. Алгоритмом называется последовательность действий (операций), которая приводит к достижению поставленной цели. Алгоритм должен обладать универсальностью в пределах заданного класса условий.

Исходные данные пятиминутные интегрированные значения активной  $P_2$  и реактивной  $Q_2$  мощностей, измеренные с помощью счетчика электроэнергии.

Примем  $U_\phi = \text{const}$ , нагрузка симметричная.

В рассматриваемом варианте алгоритм определения и введения поправки будет следующий:

- 1) измеряем пятиминутные интегрированные значения активной  $P_2$  и реактивной  $Q_2$  мощностей.
- 2) определяем по фазное значения мощностей  $P_\phi$ .

$$P_\phi = P_{A2} = P_{B2} = P_{C2} = P_2/3, \quad (2.8)$$

где  $P_{A2}$ ,  $P_{B2}$ ,  $P_{C2}$  – мощности фазы А, В, С во вторичной обмотке.

- 3) определяем усредненные пятиминутные значения  $\cos\varphi$  и  $\text{tg}\varphi$  для каждой из фаз.

$$\cos \varphi = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}}, \quad \text{tg} \varphi = \frac{Q_2}{P_2}, \quad (2.9)$$

где  $P_2$  – активная мощность вторичной обмотки

$Q_2$  - реактивная мощность вторичной обмотки

- 4) определяем усредненные пятиминутные фазные значения токов.

$$I_\phi = \frac{P_\phi}{U_\phi \cdot \cos \varphi}, \quad (2.10)$$

Где  $I_\phi$  – ток фазы;  $P_\phi$  – активная мощность фазы;  $U_\phi$  – напряжение фазы.

5) с помощью интерполяционного многочлена определяем значение амплитудной  $f_{ТТ}$  и угловой  $\theta_{ТТ}$  погрешностей для каждой фазы, соответствующее заданному значению тока.

6) С помощью интерполяционного многочлена определяем значение амплитудной  $f_{ТН}$  и угловой  $\theta_{ТН}$  погрешностей для каждой фазы, соответствующее определенному значению напряжения

7) Вычисляем значение поправки  $\Delta\Pi$  с учетом наличия измерительных ТТ в фазах А, В, С:

$$\begin{aligned} \Delta\Pi = & -P_2 \cdot k \cdot \frac{1}{3} \left[ 3 - m_A \cdot \left( 1 - \frac{f_{ТCC}(I_{2A})}{100} \right) \cdot (\cos\theta_{ВТА} - \operatorname{tg}\rho_{2A} \cdot \sin\theta_{ВТА}) - \right. \\ & - m_B \cdot \left( 1 - \frac{f_{ТCC}(I_{2B})}{100} \right) \cdot (\cos\theta_{ВТВ} - \operatorname{tg}\rho_{2B} \cdot \sin\theta_{ВТВ}) - \\ & \left. - m_C \cdot \left( 1 - \frac{f_{ТCC}(I_{2C})}{100} \right) \cdot (\cos\theta_{ВТС} - \operatorname{tg}\rho_{2C} \cdot \sin\theta_{ВТС}) \right], \end{aligned} \quad (2.11)$$

Где  $m_A$   $m_B$   $m_C$  – коэффициент погрешности в фазах А, В, С.

8) Определяем действительное значение мощности  $P_1$  с учетом поправки  $\Delta\Pi$ .

$$P_1 = P_2 \cdot k + \Delta\Pi. \quad (2.12)$$

## 2.8 Анализ способов внедрения алгоритмов корректировки

Внедрение алгоритмов корректировки результатов измерения возможно одним из двух основных способов:

- на нижнем уровне АСКУЭ путем реализации алгоритмов корректировки в электронных счетчиках;
- на верхнем уровне автоматизированной системы путем реализации алгоритмов корректировки в специальном программном обеспечении АСКУЭ в случае невозможности решения этой задачи на уровне счетчиков.

По результатам исследований современные электросчетчики не позволяют внедрение функций корректировки, поэтому актуальной задачей является поиск аппаратной платформы для построения электронных счетчиков электроэнергии с открытой возможностью самостоятельно вводить дополнительные функции, в том числе такие, как корректировка результатов измерения. Алгоритм функционирования устройства показан на рисунке 2.3 и рисунке 2.4

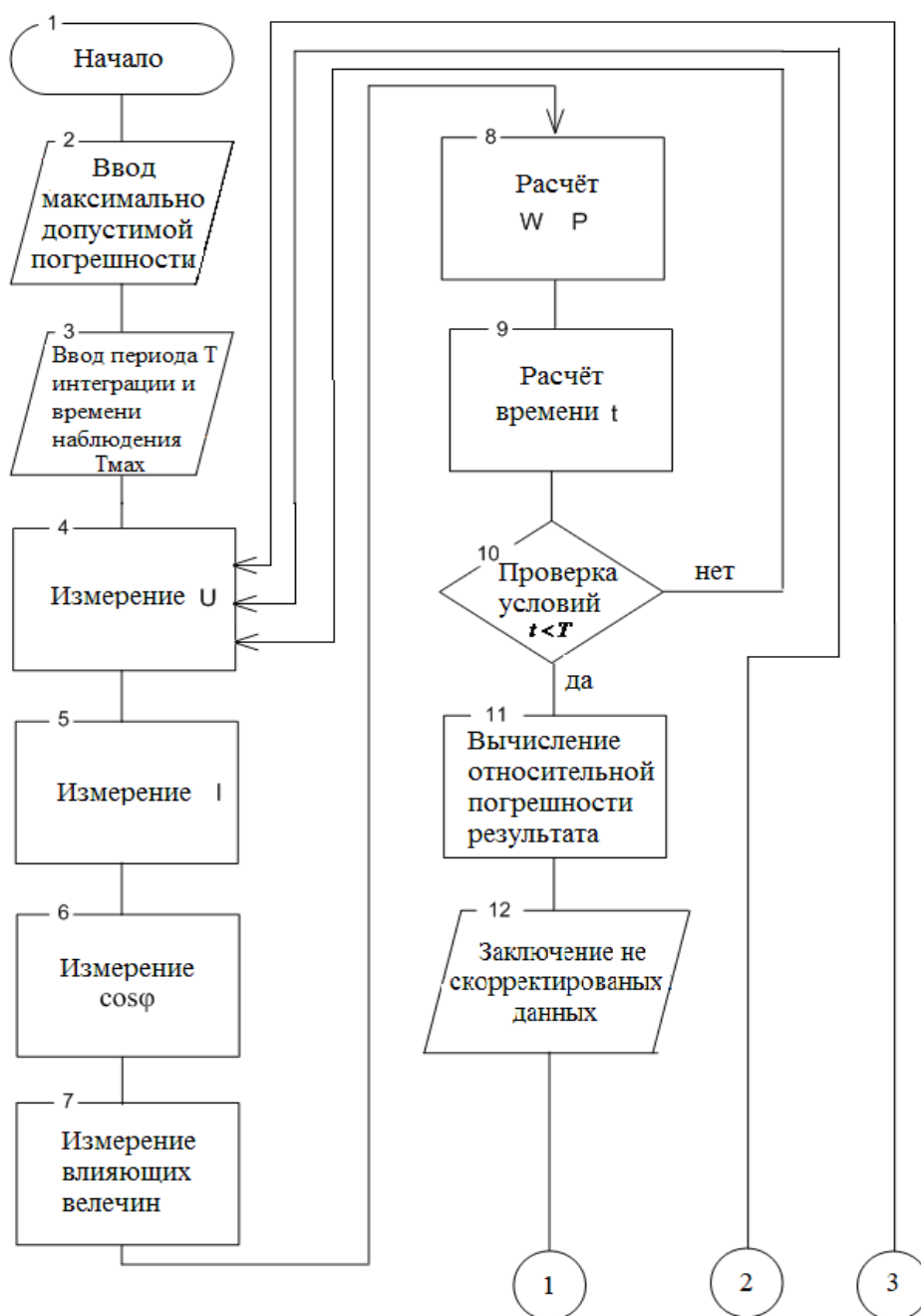


Рисунок 2.3 – Алгоритм функционирования устройства



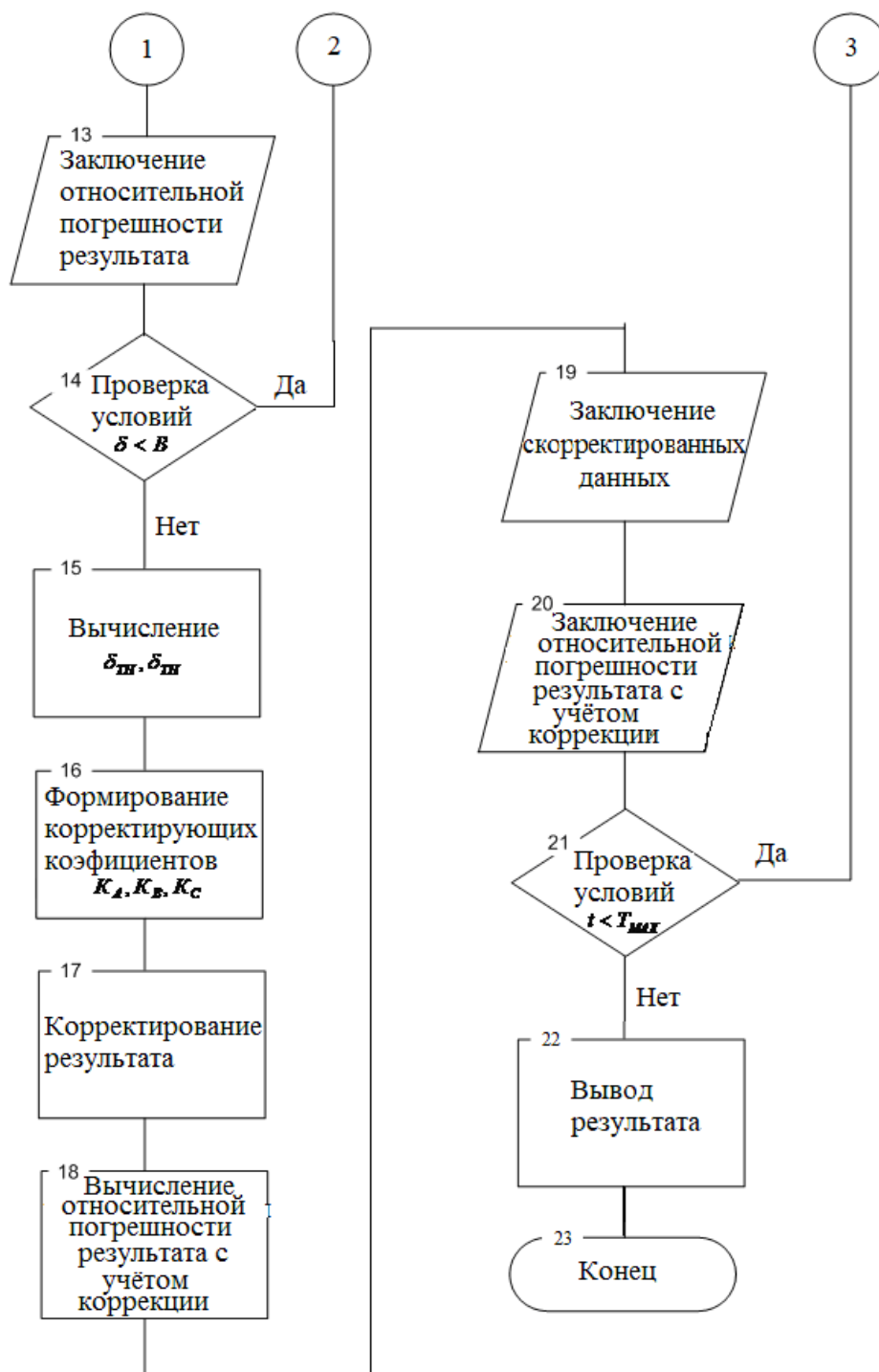


Рисунок 2.4 – Алгоритм функционирования устройства

## 2.9 Заключение по 2 разделу

Основные заключения и результаты, изложенные во второй главе диссертационной работы, заключаются в следующем:

- Предложен анализ структуры АСКУЭ и принцип работы;

- Разработан принцип дистанционной передачи данных АСКУЭ;
- Сформулировано уравнение погрешности и точных измерений;

Так же введен метод интерполяции корректирующих данных;

- Проанализирован способ внедрения корректировки;
- Разработан алгоритм корректировки погрешности, и алгоритм функционирования устройства с функциями погрешности.

### 3 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ И ВЫБОР АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ЭЛЕКТРОННОГО СЧЕТЧИКА ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО УЧЁТА ПОКАЗАНИЙ

#### 3.1 Разработка структурной схемы электронного счётчика

В данной структурной схеме предусмотрены решения следующих задач: косвенное измерение количества электроэнергии и мощности с приведением оценки погрешностей, корректировки результатов измерения с приведением оценки погрешности скорректированного результата.

Вычисляется количество электроэнергии и мощность с помощью вычислителя количества электроэнергии и мощности, на входы которого подаются сигналы с устройств измерения. Устройство содержит таймер, который формирует как текущий момент, так и периоды интеграции  $\Delta t$ , за которые усредняется значение мощности. Измеренное значение размещается в блоке памяти измеренных значений. Так как результаты косвенных измерений должны приводиться всегда с известной погрешностью, то в блоке памяти измеряемых значений хранится так именно и значение относительной погрешности. Оценка погрешности осуществляется с помощью метода вспомогательных измерений с использованием формулы

$$\delta_{W_{ik}} = \pm 1.1 \sqrt{\delta_{\Gamma_{ik}}^2 + \delta_{\Gamma_{Hk}}^2 + \delta_{\theta_{ik}}^2 + \delta_{W_{cu}}^2 + \delta_{\lambda}^2 + \delta_{c,t}^2 + \delta_{c,f}^2 + \delta_{c,n}^2} \quad (3.1)$$

с помощью вычислителя относительной погрешности результата.  $\delta_{\Gamma}$  и  $\delta_{\Gamma_{Hk}}$  определяются с помощью интерполятора трансформаторов тока и напряжения. С этой целью от устройства измерения токов на интерполятор подается значение токов пофазно и каждому значению тока с помощью метода сплайнов ставится в соответствие значения угловой погрешности трансформатора тока и относительные погрешности со своим знаком.

Действие влияющих величин на погрешность измерения оценивается с помощью устройства измерения влияющих величин. Корректировка результатов измерения осуществляется с помощью формирователя корректирующих коэффициентов и блока корректировки по следующим формулам (3.2), (3.3):

$$K_A = \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \theta_{\Sigma^A}(I) - \sin \theta_{\Sigma^A}(I) \operatorname{tg} \varphi_{2A}}}{(1 - \delta_{THA}(I))(1 - \delta_{TCA}(I))}, \quad (3.2)$$

$$W_{1A} = W_{2A} K_{TH} K_{TT} K_A, \quad (3.3)$$

где  $K_A$  - корректирующий коэффициент фазы А;  $K_{TH}$  - корректирующий коэффициент трансформатора напряжения;  $K_{TT}$  - корректирующий коэффициент трансформатора тока;  $W_{1A}$  - корректирующий блок первичной обмотки на фазе А;  $W_{2A}$  - корректирующий блок вторичной обмотки на фазе А.

Скорректированное значение хранится в блоке памяти скорректированных значений, где именно хранится и погрешность скорректированного результата вычисления с помощью вычислителя относительной погрешности результата с учетом корректировки.

Информация из блока памяти скорректированных значений и блока памяти измеренных значений поступает через устройство передачи данных на верхний уровень АСКУЭ в соответствии с рисунком 3.1.

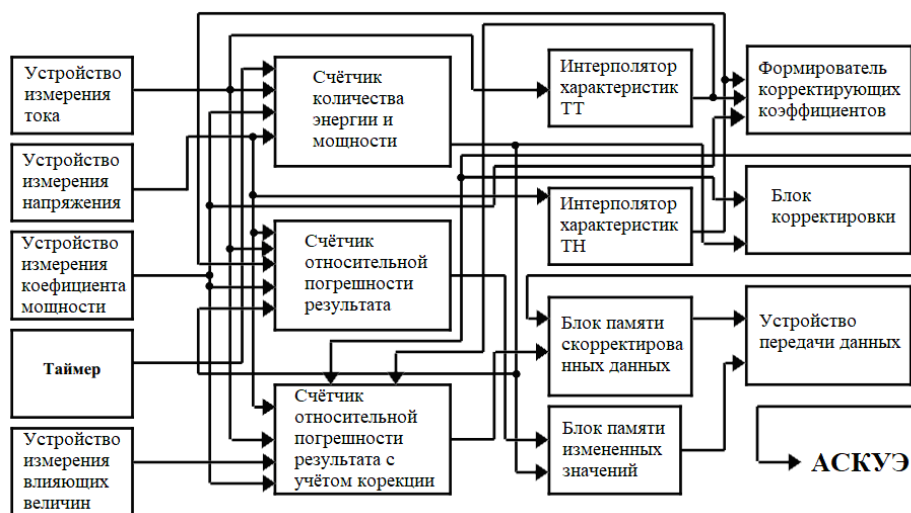


Рисунок 3.1 – Структурная схема электронного счетчика

### 3.2 Аппаратная платформа

По результатам поиска наиболее эффективной аппаратной платформы, что позволит реализовать разработаны структурная схема и алгоритм корректировки был избран микроконтроллер 71M6513, что сочетает в себе полный функциональный набор узлов трехфазного счетчика электроэнергии в одном корпусе микросхемы в соответствии с рисунком 3.2 .

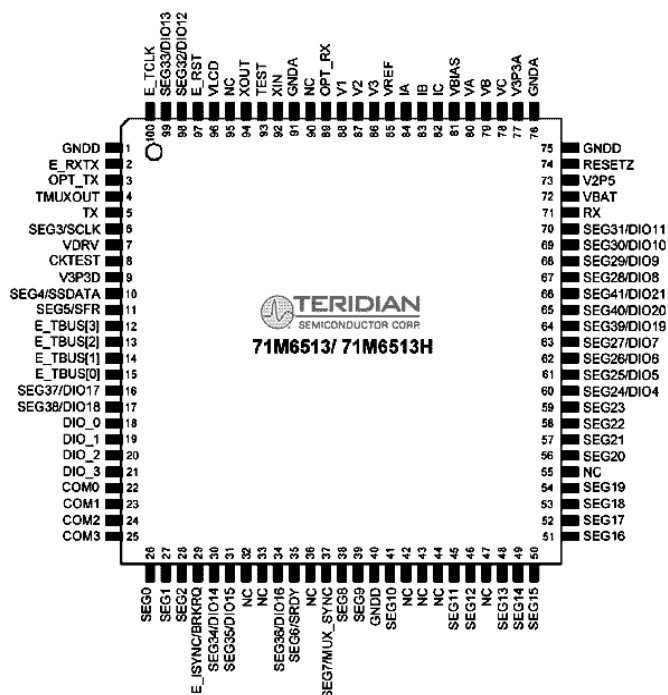


Рисунок 3.2 – Микроконтроллер 71M6513

Это первая в промышленности специализированная система учета параметров электроэнергетических с полным набором современных функциональных узлов. Семнадцатилетний опыт разработки микросхем для учета электроэнергии и опыт разработки аналоговых, интерфейсных и вычислительных систем компании Teridian Semiconductor Corporation был применен при конструировании этого микроконтроллера. В состав 71M6513 вошли: микропроцессорное ядро стандарта 8051, таймер реального времени, FLASH драйвер и память РКИ

Отличительной особенностью является запатентованная измерительная схема с одним 21-разрядным Дельта-Сигма АЦП, шестью аналоговыми входами, цифровым температурным компенсатором, прецизионным источником образцового напряжения и 32-битным вычислителем, что позволяет использовать микросхему как основной элемент промышленных счетчиков электроэнергии с использованием всего нескольких недорогих внешних электронных компонент (рис. 3.2). Использование тактирование системы от недорогого кварцевого резонатора с частотой 32КГц и встроенные узлы переключения на работу от резервного (аккумулятор, батарея) источники питания также снижают общую стоимость счетчика электроэнергии.

Максимальную гибкость конструкции обеспечивают порты UART, I2C порты, компаратор контроля падения напряжения питания, 5-вольтовый повышающий источник питания РК, 22 двунаправленных параллельных портов ввода-вывода и программируемая «в-системе FLASH, которая может обновляться новыми данными или прикладными кодами. Возможность замены на FLASH ROM дает значительные преимущества в стоимости микросхемы. Микросхема обеспечивает повышенную точность измерений 0,1% так и стандартную 0,5% для многофункциональных бытовых и коммерческих счетчиков, требующих повышенного количество портов ввода-вывода и функционального ЖКИ индикатора. Полный внутрисхемный

эмулятор и средства для разработчика, в комплекте с библиотекой программ и руководства по разработке позволяют ускорить и упростить процедуру конструирования счетчика электроэнергии.

В микросхемах 71M6513 интегрированы все основные функциональные блоки, необходимые для цифрового измерителя потребляемой электроэнергии (рис. 3.3).

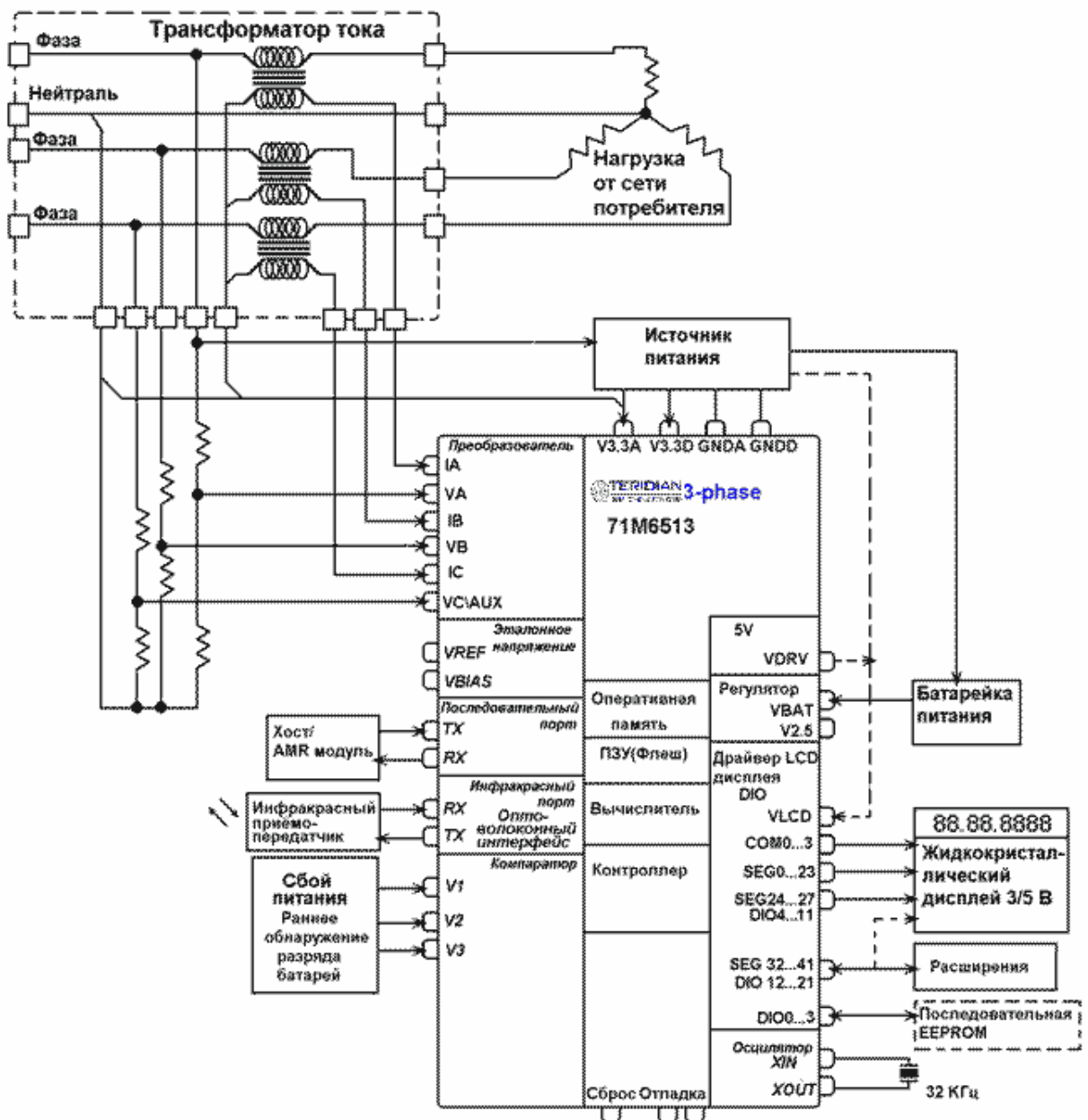


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема электронного счетчика на базе микросхемы 71M6513

В одной микросхеме установлены секция аналогового внешнего интерфейса (AFE) с 21-разрядный дельта сигма АЦП, цифровой 32-разрядный вычислитель, 8051-совместимый микропроцессор, прецизионный источник опорного напряжения, RAM, Flash, EEPROM, таймер-календарь реального времени, драйверы и питающие цепи LCD, несколько секций ввода-вывода: последовательный порт UART, интерфейс для оптических коммуникаций и интерфейс общего назначения GPIO. Структурная схема микроконтроллера 71M6513 показана на рисунке 3.4

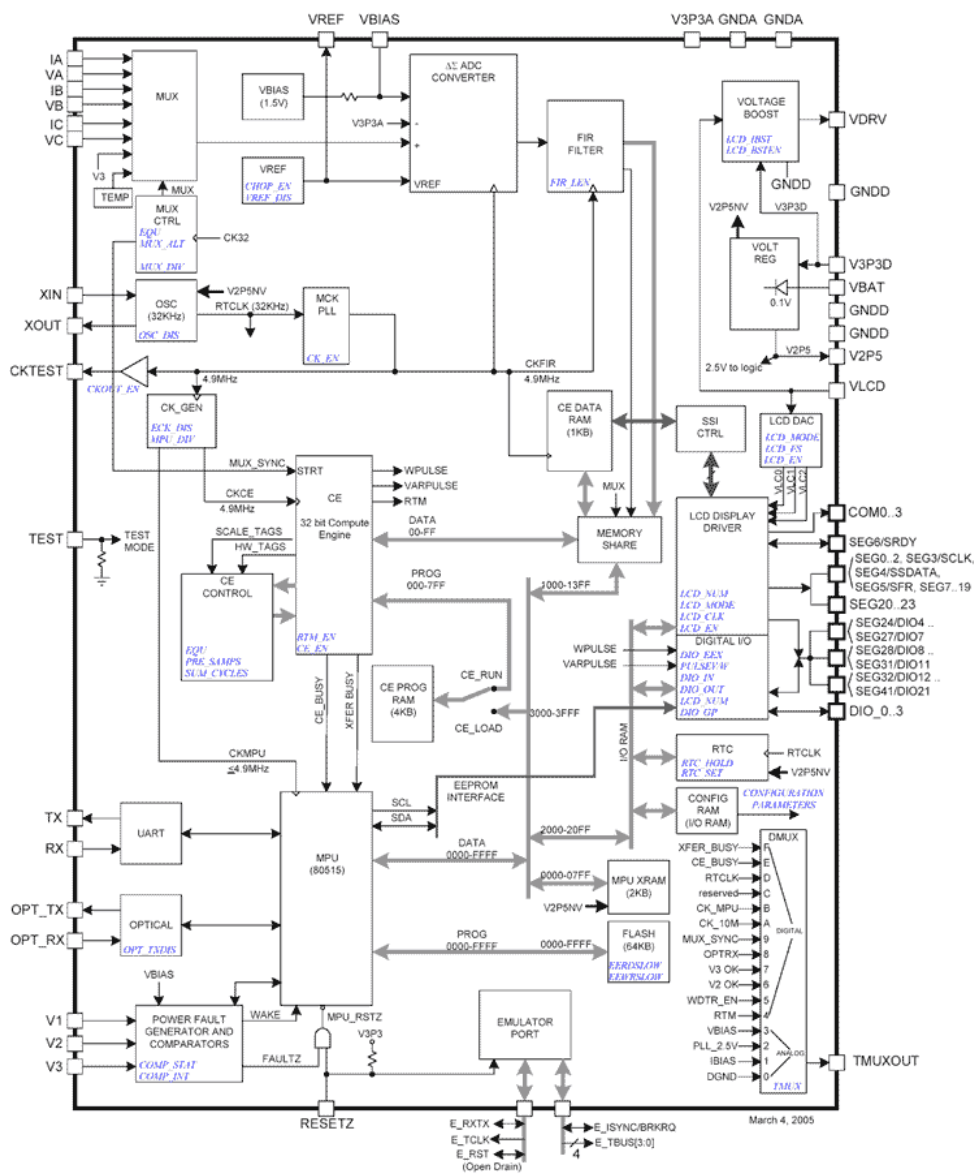


Рисунок 3.4 – Структурная схема микроконтроллера 71M6513



В типовом применении микросхема счетчика делает выборки из напряжения поступает на входы IA, VA и осуществляет все необходимые вычисления для расчета активной мощности, реактивной мощности, квадратичной тока и напряжения. На приложение таймер реального времени позволяет фиксировать время и дату используемой информации. Аналоговая часть способна принимать до 6-ти входных напряжений. Входное напряжение оцифровывается с использованием Дельта-Сигма АЦП. АЦП использует встроенный прецизионный источник опорного напряжения. В дополнение к АЦП аналоговая часть включает цифровой температурный измеритель для обеспечения компенсаций погрешностей всей системы. Данные с АЦП поступают на 32-битный вычислитель. Результатом обработки вычислителем входной информации есть Активная мощность - Wh, Реактивная мощность - VARh, Квадратура напряжения - V2h и квадратура тока A2h. На заводе Teridian Semiconductor Corporation в память вычислителя занесено одно уравнение для обработки и вычисления мощности и напряжения, другие уравнения разработчик может самостоятельно заносить в память Вычислителя. Программируемый 8051-совместимый микроконтроллер предоставляет разработчику пользовательский интерфейс и такие интегрирующие функции, как инициализация при включении, детектор спада напряжения питания, и запись в Flash память. Поступающие данные могут быть накоплены в Flash EEPROM или питается от батареи RAM. В микроконтроллер внедрены также средства для отладки команд по контрольным точкам через интерфейс эмулятора.

Технология однокристалльного счетчика Teridian Semiconductor Corporation обеспечивает общее снижение потребляемой счетчиком мощности, искажений и стоимости изделия в целом. 71M6513 имеет минимальное число внешних компонент. Низкое потребление мощности позволяет использовать недорогие конденсаторы в источнике питания.

### 3.3 Система дистанционного учёта показаний

Одним из основных преимуществ удаленного опроса электросчетчиков с использованием публичного статического адреса является более высокая надежность такой сети. Устройство состоит из двух частей — приемника, расположенного рядом с роутером, и передатчика, содержащего в себе микроконтроллер. Передатчик содержит источник тока (я использую NSI45020, предназначенный для питания светодиодов) и последовательно соединенный с ним транзистор. Передатчик и приёмник показан на рисунке 3.5

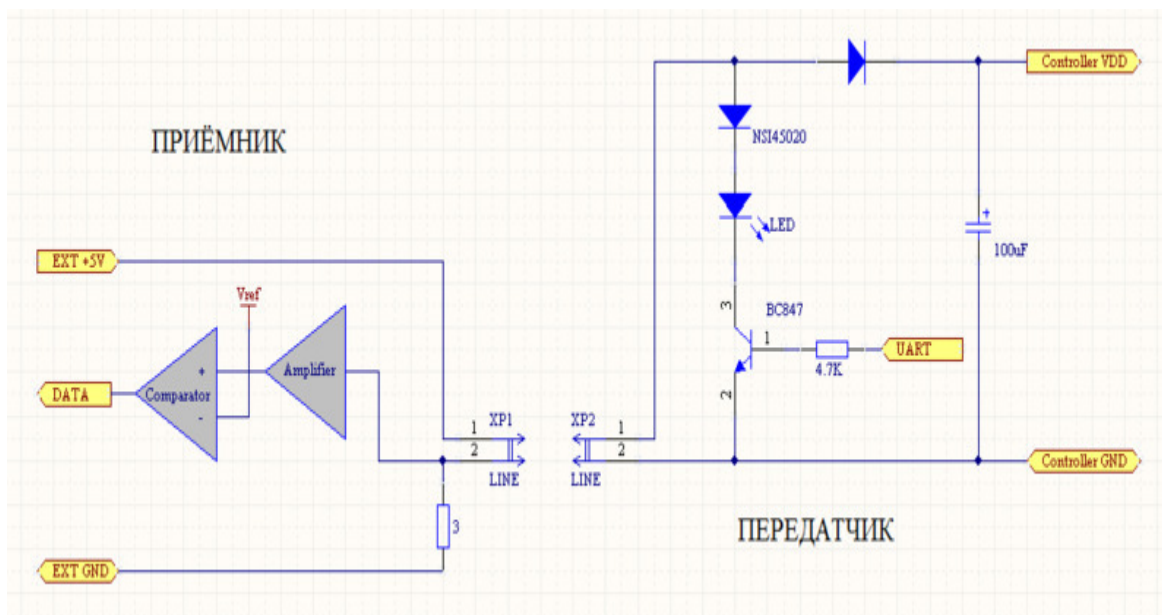


Рисунок 3.5 – Схема организации токовой петли

При подаче на базу транзистора напряжения высокого уровня он открывается, и через линию связи начинает идти определенный ток. В результате этого на токоизмерительном резисторе (3 Ом) возникает падение напряжения, которое усиливается операционным усилителем. Усиленное напряжение подается на компаратор, и если оно больше определенного порога ( $V_{ref}$ ), то на выходе компаратора устанавливается высокий уровень напряжения. При отсутствии тока (точнее при малой его величине, так как контроллер всегда потребляет ток) падение напряжения на резисторе мало, и

на выходе компаратора устанавливается низкий уровень напряжения. Источником питания всей конструкции является роутер, напряжение 5 В с которого подается на приемник (входы слева на схеме) и проходит через линию практически без изменений — поскольку токи низкие, а линия короткая, то падение напряжения на резисторе и проводах достаточно мало. Далее это напряжение можно использовать для питания микроконтроллера (выходы справа на схеме). Для передачи данных с микроконтроллера выход его UART соединен с базой транзистора, а выход компаратора соединен со входом преобразователя UART — USB. Скорость передачи данных — 1200 бит/сек. Это обеспечивает надежную передачу данных, а также при такой маленькой скорости передача даже короткой посылки видна по миганию светодиода.

«SprutNet PRO» – это специализированный модем для передачи данных по каналу TCP/IP, UDP и CSD, текстовых сообщений SMS в сети GSM. Стандартный интерфейс RS-232C, RS-485 или два интерфейса RS232C/RS485 одновременно, встроенный таймер жесткой перезагрузки модема, делают простым и удобным применение модема в качестве терминала GSM в системах мониторинга и контроля. Одна из версий модема, имеет одновременно 2 интерфейса RS-232C и RS485, что позволяет подключать два разных оконечных устройства и осуществлять обмен данными с ними в режиме временного мультиплексирования.

«SprutNet PRO» позволяет строить крупномасштабные сети опроса электро/тепло-счетчиков с использованием передачи данных по сети интернет, системы M2M

Выполняемые функции:

Клиент TCP/IP Передача данных через интерфейсные разъемы модема (RS-232C, RS485, RS-232C/RS485) в обоих направлениях при подключении модема к внешнему TCP/IP адресу сервера.

SprutNet PRO RS232/RS485 GSM/GPRS модем

Сервер TCP/IP. Передача данных через интерфейсные разъемы модема (RS-232C, RS485, RS-232C/RS485) в обоих направлениях при поступлении пакетов TCP/IP на модем с установленной SIM-картой с включенным статическим глобальным TCP/IP адресом от стороннего клиента TCP/IP.

Клиент TCP/IP по событию. Включение стека TCP/IP, подключение к серверу интернет и передача данных между ним и интерфейсом, при наступлении какого либо внешнего события. В начале получение SMS с командой, после входящий звонок с конкретного номера, затем истечение заданного и параметра интервала времени, а после событие на внешнем разьеме (опционально).

Создание сети опроса тепловычислителей типа ВКТ7 и СПТ941 с дистанционным снятием показаний по каналу GPRS TCP/IP, организованному на модеме SprutNet RS232 PRO, работающем в режиме клиента. Данный метод имеет свои неоспоримые преимущества в экономическом плане, так как позволяет существенно сократить затраты на связь. Одним из преимуществ удаленного опроса электросчетчиков с использованием публичного статического адреса является более высокая надежность такой сети в силу ее распределенности. То есть все модемы сети имеют доступные из Интернета адреса, при снятии показаний данные передаются непосредственно на диспетчерский компьютер, минуя промежуточный коммуникационный сервер, который используется в случае применения динамической IP-адресации в используемом тарифе СИМ-карты сотового оператора.

Для демонстрации опроса электросчетчика будет использован стенд в следующем составе, в соответствии с рисунком 3.6:

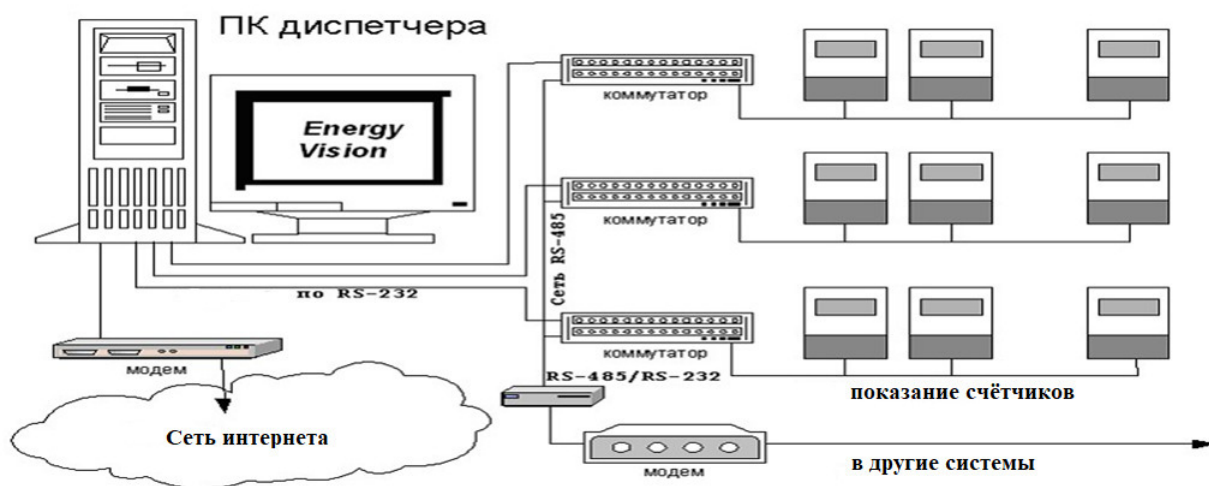


Рисунок 3.6 - Структурная схема стенда для демонстрации опроса счетчиков

- ПК с предустановленной ОС WindowsXP,7,8,10 и подключением к сети Интернет;
- программное обеспечение опроса электросчетчика «Конфигуратор счетчиков», releasecandidate 1.7.0 ;
- GSM/GPRS модем SprutNet RS485 PRO, версия «TCP-сервер 1.1»;
- СИМ-карта сотового оператора Билайн, с услугой статического IP-адреса ;
- электросчетчик ;
- конвертор PORTU RS232 – RS485 для первоначальной настройки модема.

Перед подключением модема непосредственно к электросчетчику необходимо убедиться, что отладочная конфигурационная СМС, отсылаемая в модем, корректна и содержит правильные параметры для TCP/IP-соединения. Для этого модем предварительно через конвертер интерфейсов PORTU RS232 – RS485 подключается к ПК, к разъему COM-порта. Скорость COM-порта совпадает со скоростью модема, остальные настройки – 8-N-1. В тестировании используется модем с предустановленной скоростью 2400 бит/сек. На ПК запускается программа HyperTerminal с настройками,

соответствующими вышеуказанным параметрам. На модем и конвертор подается напряжение питания. После инициализации модема на телефонный номер СИМ-карты отсылается отладочная конфигурационная СМС следующего содержания «####!2020!1.static.beeline.ru».

где #### – признак отладочной СМС, параметры разделены символом восклицательный знак:

- первый параметр – 2020 – номер порта IP-адреса сервера, через который идет обмен данными;
- второй параметр – 1 – интервал проверки состояния TCP сервера модема;
- третий и четвертый параметры – логин и пароль при подключении к APN, в нашем случае пустые места;
- пятый параметр – static.beeline.ru – APN.

После получения модемов отладочной СМС, если синтаксис корректен, то модем перезапустится. При старте модема в окне HyperTerminal будут отображаться сообщения примерно следующего вида «MEZONIN rev.1.1 TCP Server»

### 3.4 счётчик электроэнергии и его показания результатов.

В основе сбора счётчика лежит сам микроконтроллер 71M6513 к которому подключены через трансформаторы тока 3 фазы и нейтраль. Выводы подключены непосредственно к дисплею, памяти счётчика, передатчик, приёмник и т.д. В программе Multisim строим схему и проверяем на наличие ошибок. После чего собираем сам счётчик. Схема принципиальная показана на рисунке 3.7

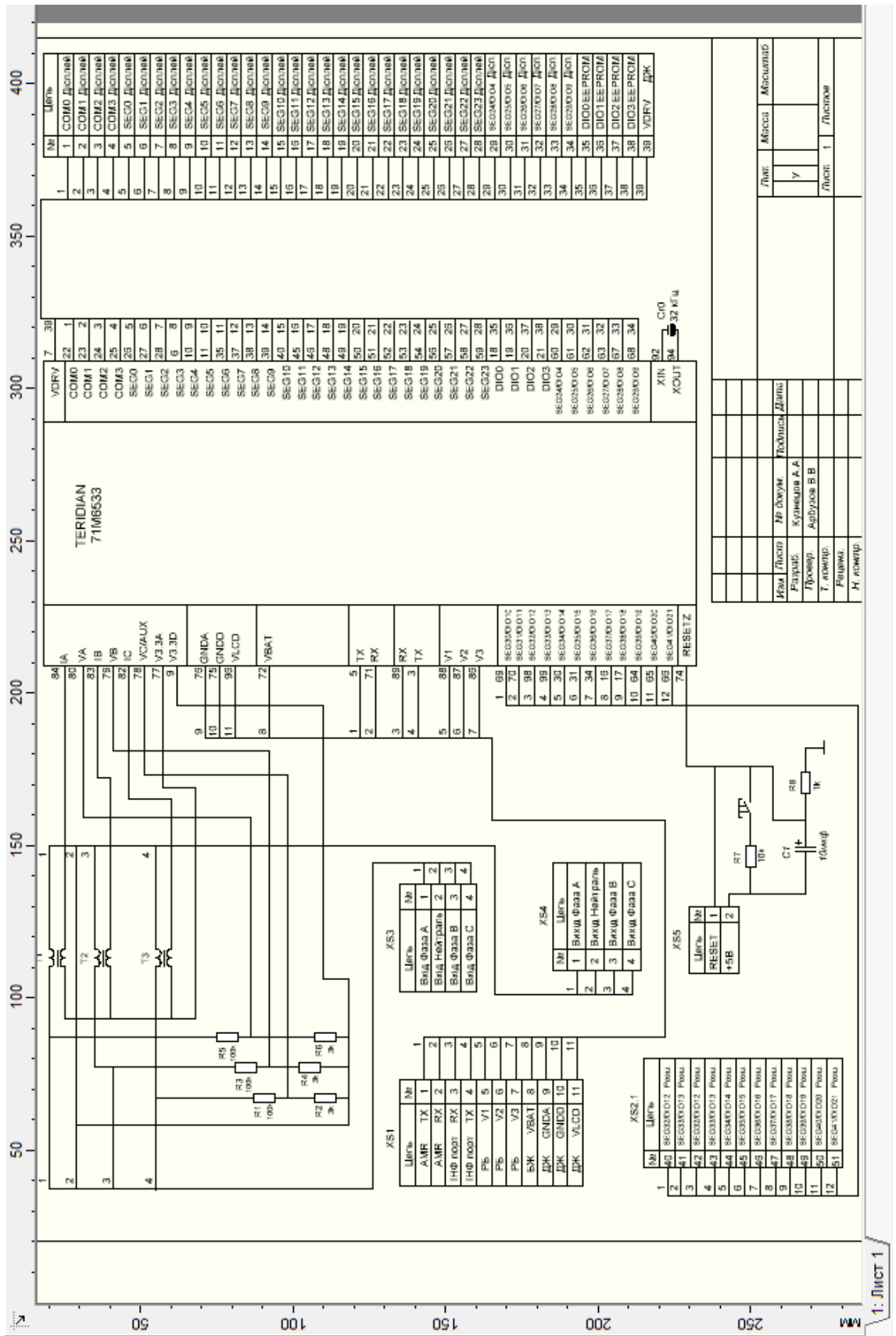


Рисунок 3.7 – Принципиальная схема счетчика электроэнергии

Монтируем счётчик на рабочую поверхность и снимаем результаты. К сравнению результатов возьмем счётчик электроэнергии «Энергомер СЕ300» и считаем погрешность. Посчитаем для начала «Энергомер СЕ300»

Погрешность счетчика подсчитывается с помощью следующей формулы:

$$E = (Ptx/3600 - 1) 100\% \quad (3.2)$$

$E$  – погрешность электросчетчика в процентах (%),  $P$  – Мощность потребляющего устройства в киловаттах (кВт),  $t$  – время одного импульса в секундах (с),  $x$  – передаточное число учетного прибора, а 3600 – количество секунд в одном часу.

Например, проверим электронный счетчик, с передаточным числом 4000 импульсов/кВтч. В качестве тестового прибора – используем «лампочку Ильича», мощностью 100 Ватт (0.1 кВт). Засаекаем с помощью таймера время, за которое счетчик совершит 20 импульсов, получаем  $T=186$  с. Рассчитываем время одного импульса, поделив 186 на 20, получаем 9.3 с.

Значит,  $E = (0.1*9.3*4000/3600 - 1)*100\%$ , что на практике равно 3.3%. Так как результатом стало отрицательное число – счетчик работает с отставанием, которое составляет немногим более 3%.

Считаем погрешность собранного счётчика. Из указанных данных микроконтроллера узнаем примерное передаточное число в 20000 импульсов/кВтч. Засаекаем с помощью таймера время за которое счетчик совершит так же 20 импульсов и получаем 36 с. Поделив получаем время одного импульса 36 на 20, равное 1,8 с.

По той же формуле рассчитываем погрешность  $(0.1*1.8*20000/3600 - 1)*100\%$ , получаем приблизительно 0%.

Сделав выборки из собранного счётчика можно заметить что погрешность данного аппарата примерно нулевая в процентах. Выборка счётчика показана на рисунке 3.8



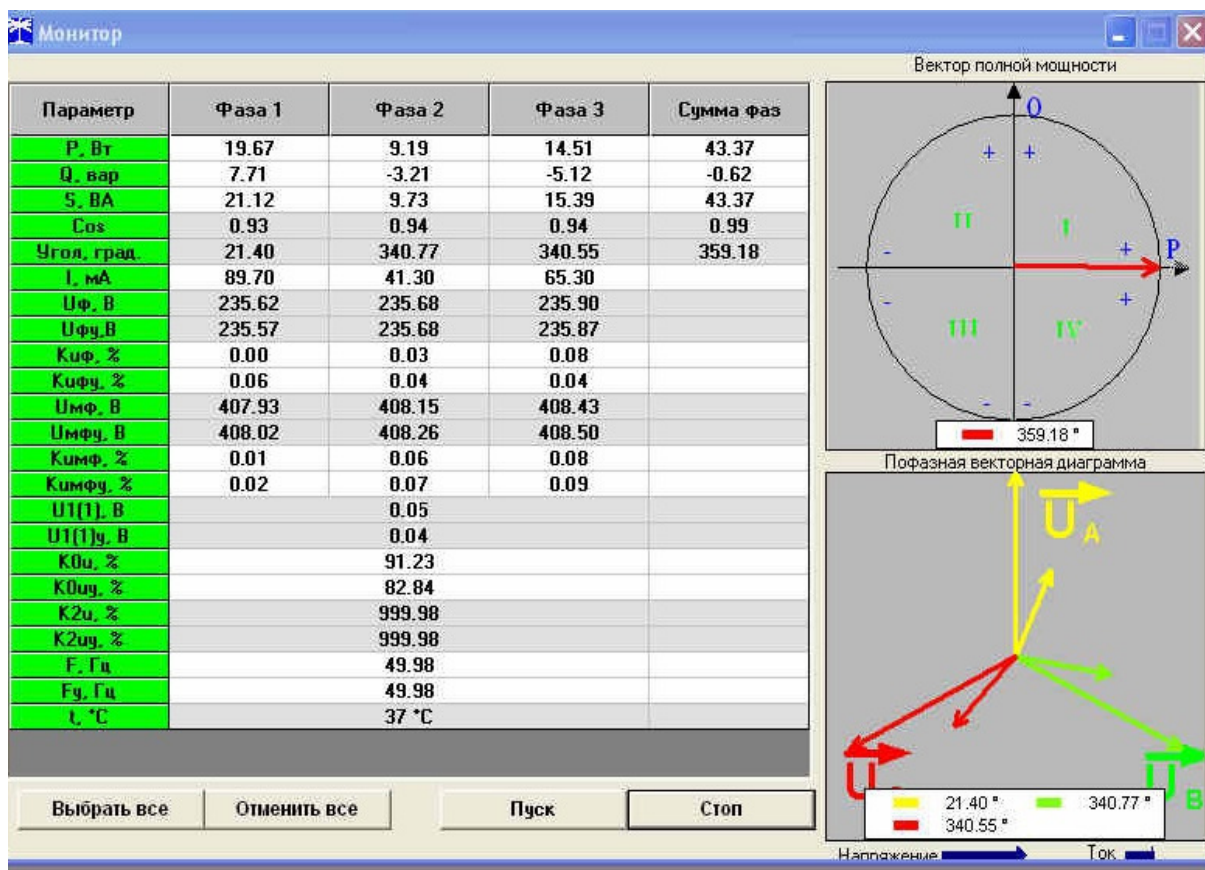


Рисунок 3.8 – Выборка счётчика электроэнергии

### 3.5 Программное обеспечение микроконтроллера

Данный контроллер программируется Программатором TFP2

Программатором TFP2 представляет собой устройство программирования микросхем Teridian на этапе серийного промышленного производства.

Он поддерживает все выпускающиеся сегодня микросхемы для счётчиков электроэнергии Teridian, а также микросхемы серии 73S12XX для смарт-карт ридеров.

Программатор TFP2 способен выполнять свои функции как в автономном режиме, так и под управлением компьютера.

Код, предназначенный для записи во Flash память программ микросхем Teridian, должен быть предварительно записан в память

программатора TFP2 типа EEPROM. Для этого используется подключение TFP2 к компьютеру по интерфейсу RS-232.

Программатор TFP2 поддерживает объёмы памяти 8К, 16К, 32К, 64К, 128К и 256К.

Программатор TFP2 не может быть подключён к микросхемам Teidian без дополнительных согласующих элементов. Подключение происходит либо по схеме «программирование в системе» – то есть подключение к плате счётчика через технологический разъём, либо через несложную согласующую плату с небольшим количеством электронных компонентов.

Для подключения к программируемой плате может быть использован один из интерфейсов программирования TFP2 на выбор: Target-LS или Target-HS. Интерфейсы оформлены в виде разъёмов. Target-LS предназначен для низкоскоростных тактовых частот программирования до 10 МГц и может использовать отдельные соединительные провода для подключения к программируемой плате. При использовании Target-HS провода должны быть оформлены в виде ленточного кабеля и тактовые частоты программирования могут быть выше 10 МГц.

Для работы в автономном режиме при условии, что код программы для счётчика уже записан в память программатора, достаточно подключить питание к программатору и соединить один из интерфейсов программирования к программируемой плате. Процесс программирования стартует после нажатия кнопки Programm программатора. При этом идёт контроль правильности записи кода в память микросхемы и при нарушениях сообщается оператору путём включения красного светодиода программатора Fail. Нормальному процессу соответствует свечение зелёного светодиода Programming/Pass. Зелёный светодиод мигает — процесс программирования происходит штатно, светит постоянно — процесс программирования завершён.

Для программирования под управлением компьютера также используется один из интерфейсов Target-LS или Target-HS и дополнительный интерфейс АТЕ, конструктивно оформленный в виде разъема в левой верхней части корпуса программатора. На выходы этого интерфейса программатор выдает сигналы, информирующие о течении процесса программирования: сброс, старт программирования, верификация прошла, ошибка верификации и другие сигналы, необходимые для управления процессом программирования дистанционно через компьютер.

### 3.6 Программное обеспечение конфигурирования

После подключения модема к электросчетчику и подачи питания модем должен запустить ТСР-сервер. При удачном старте сервера индикатор начнет мигать с частотой 1 Гц, при неудачном – раз в 3 секунды. Рисунок 3.9

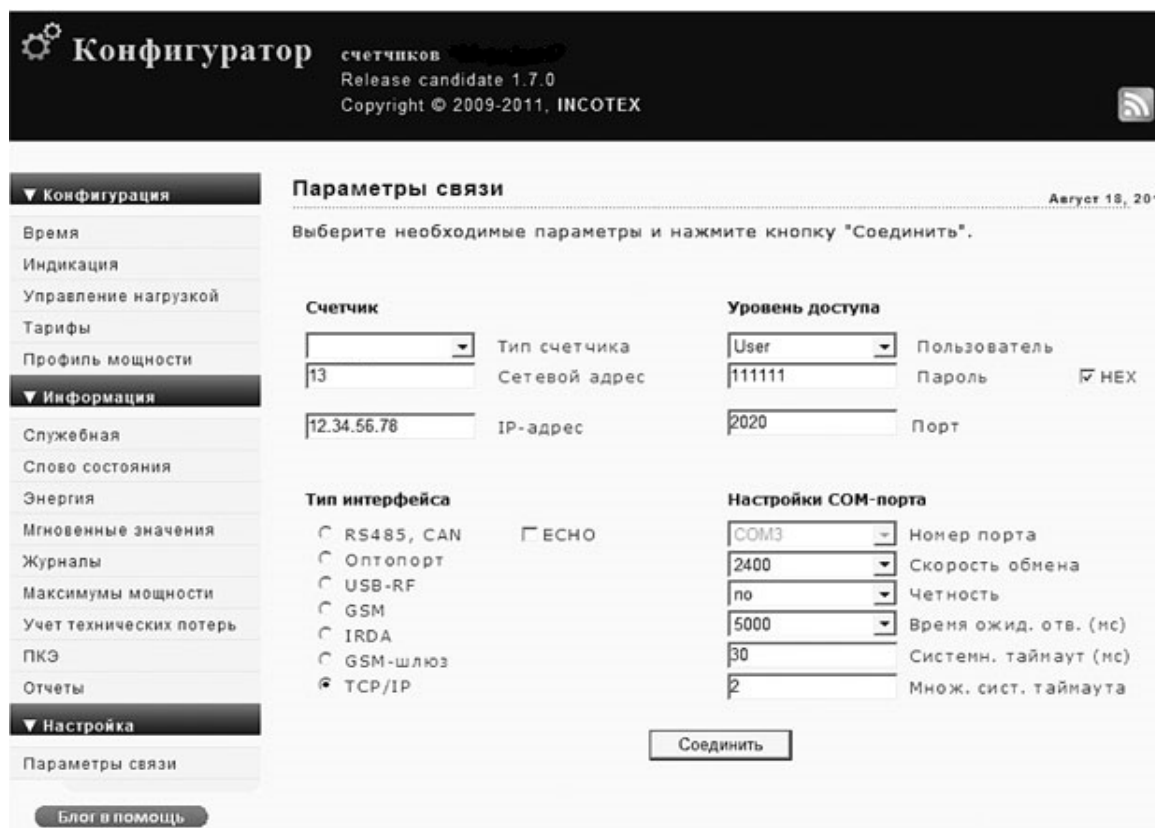


Рисунок 3.9 – Настройка параметров связи в программе «Конфигуратор счетчиков»

Для снятия показаний электросчетчика запустим программу «Конфигуратор счетчика». На вкладке «Параметры связи», рисунок 4.1, необходимо выбрать «Тип интерфейса» – TCP/IP, заполнить поля IP-адреса и порта, сетевой номер прибора. Настройки скорости COM-порта совпадают со скоростью интерфейса модема. Временные параметры будут индивидуальными в зависимости от географического региона. В принципе использование GPRS подразумевает «большие» временные задержки. При нажатии на кнопку «Соединить» устанавливаем соединение. Индикатор снизу показывает прогресс операции соединения. После этого можно осуществлять считывание показаний, рисунок 3.6

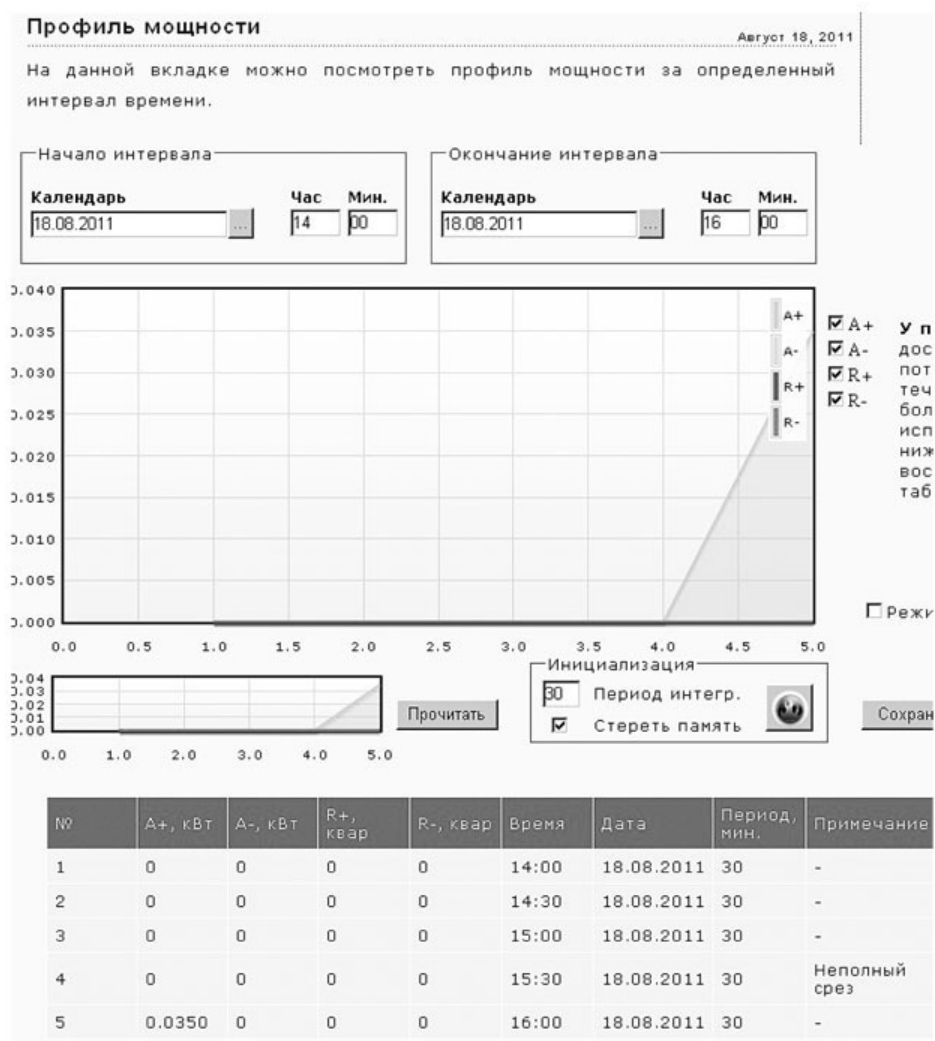


Рисунок 3.10 – Снятие показаний профиля мощности счетчика

Снятие показаний большого парка электросчетчиков в режиме ТСР/IP имеет неоспоримые преимущества при постоянном мониторинге профиля мощности абонентов, для определения дисбаланса и соответственно «утечек» мощности. Это также необходимо в так называемые «режимные» дни, дни пиковых нагрузок, при применении опросного программного обеспечения, поддерживающего автоматический параллельный режим опроса электросчетчиков. При использовании режима CSD постоянный мониторинг показаний становится весьма дорогостоящим по затратам на связь. При количествах электросчетчиков, исчисляемых несколькими сотнями, имеет смысл строить сеть опроса с использованием уже динамической IP-адресации, при которой отсутствует абонентская плата за статический IP-адрес.

### 3.7 Заключение по 3 разделу

Основные заключения и результаты, изложенные в третьей главе диссертационной работы, заключаются в следующем:

- разработана структурная схема предусмотрены решения следующих задач: косвенное измерение количества электроэнергии и мощности с приведением оценки погрешностей, корректировки результатов измерения с приведением оценки погрешности скорректированного результата;
- выбрана аппаратная платформа которая позволит реализовать разработаны структурная схема и алгоритм корректировки;
-

ERROR: syntaxerror  
OFFENDING COMMAND: --nostringval--

STACK: