Микропроцессорные счетчики электроэнергии



В. И. Лебедев

ДМК ПРЕСС
издательство

УДК 621.317.785
ББК 31.221-5
Л33

Л33 В. И. Лебедев
Микропроцессорные счетчики электроэнергии. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 196 с.

ISBN 978-5-97060-457-1

В книге излагаются вопросы построения микропроцессорных (цифровых) счетчиков электрической энергии переменного тока, описываются принципы их функционирования, структурная организация, элементная база, средства поверки и защиты информации в них; приводятся примеры и технические характеристики счетчиков и рассматривается их применение в автоматизированных системах контроля и учета электроэнергии.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, связанных с разработкой и эксплуатацией средств микропроцессорной и информационно-измерительной техники и их применением в энергетике и смежных областях, может быть полезна преподавателям, аспирантам, магистрантам и студентам старших курсов вузов соответствующих специальностей.

УДК 621.317.785
ББК 31.221-5

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-97060-457-1

© Лебедев В.И., 2017
© Оформление, издание, ДМК Пресс, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 5

Глава 1. Архитектура счетчиков электроэнергии 7
1.1. Общие сведения 8
1.2. Классификация счетчиков 13
1.3. Принципы функционирования счетчиков 15
1.4. Структурная организация счетчиков 18
1.5. Погрешности счетчиков 36
1.6. Средства поверки счетчиков 39
1.7. Средства защиты информации счетчиков 41

Глава 2. Элементная база счетчиков электроэнергии 53
2.1. Измерительные микросхемы 54
2.2. Микроконтроллеры 60
2.3. Цифровые сигнальные процессоры 63
2.4. Интерфейсы 72
Интерфейс «Токовая петля» 72
Интерфейс RS-485 73
Интерфейс M-Bus 77
Интерфейс Ethernet 78
Интерфейс RS-232 80
Интерфейс IrDA 81
Интерфейс I^2C 82
Интерфейс SPI 85
Интерфейс USB 85
2.5. Модемы 87
Модуляция сигналов 88
Электросетевые модемы 104
Радиомодемы 128
GSM-модемы 132
2.6. Часы реального времени 138
2.7. Измерительные трансформаторы 142

Глава 3. Примеры счетчиков электроэнергии и их применение в АСКУЭ 155
3.1. Примеры счетчиков 156

Однофазные счетчики 156
Трехфазные счетчики 158
Многофункциональные счетчики 160
3.2. Применение счетчиков в АСКУЭ 165
АСКУЭ для ЖКХ 165
АСКУЭ в промышленности 170
АСКУЭ в энергетике 173
АСКУЭ на транспорте 174
Региональные АСКУЭ 176
Национальные АСКУЭ 179

Заключение 180

Глоссарий 181

Список литературы 184

ГЛАВА СТРАНИЦА

1 АРХИТЕКТУРА СЧЕТЧИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

2	Элементная база счетчиков электроэнергии	53
3	Примеры счетчиков электроэнергии и их применение в АСКУЭ	155
	Заключение	180
	Глоссарий	181
	Список литературы	184

1.1. Общие сведения

С точки зрения вычислительной техники МПСЭЭ представляет собой специализированный промышленный компьютер, непрерывно функционирующий под управлением «жесткой» программы. Кроме измерения ЭЭ, такие приборы обеспечивают контроль ее качества, регистрацию аварийных ситуаций и перенапряжений в электрических сетях, а также управление и регулирование электропотребления [1–4]. По сравнению с традиционными индукционными (механическими и электромеханическими) приборами учета ЭЭ, эти счетчики обладают рядом преимуществ:

- повышенной точностью измерения ЭЭ;
- широкими возможностями измерений;
- возможностью контроля качества ЭЭ;
- возможностью учета потерь ЭЭ;
- простой калибровкой;
- защитой от несанкционированного доступа;
- автоматическим считыванием показаний;
- безопасностью (защитой информации);
- гибким фактурированием (возможностью многотарифного учета, предоплаты ЭЭ и т. п.);
- возможностью управления нагрузкой потребителей.

Повышенная точность измерения. Как правило, погрешности индукционных счетчиков превышают 2%. В то же время погрешности МПСЭЭ достигают 0,2%. За счет более высокой точности они позволяют снизить небалансы энергосистем (при работе в составе АСКУЭ).

Широкие возможности измерений. Кроме измерения ЭЭ (активной, реактивной и полной), многие МПСЭЭ измеряют мгновенную и максимальную мощность (активную, реактивную и полную), фазные напряжения и токи, коэффициенты мощности и искажений синусоидальных кривых фазных напряжений и др.

Контроль качества ЭЭ. В ряде счетчиков имеется возможность контроля и отслеживания параметров качества ЭЭ (выхода за допустимые пределы сетевого напряжения и частоты, провалов и скачков напряжения, коэффициентов несимметрии напряжения и тока, несинусоидальности кривых напряжения и тока и т. п.).

Учет потерь ЭЭ. Активные и реактивные потери ЭЭ и мощности в линиях электропередачи и силовых трансформаторах определяют-

ся в счетчиках по измеренным ими значениям тока и напряжения и заданным константам, учитывающим номинальные значения тока и напряжения, температурный коэффициент токоведущих элементов и др.

Простая калибровка. Поскольку индукционный счетчик содержит подвижные элементы, то со временем требуется доводка или подгонка этих элементов для полного соответствия техническим требованиям. Это предполагает снятие счетчика и передачу его на калибровку. Старение элементов МПСЭЭ также требует его калибровки. Но использование энергонезависимой памяти в нем для хранения калибровочной информации существенно упрощает процесс калибровки. Он сводится к перезаписи калибровочных коэффициентов. Возможно также создание самокалибрующихся приборов.

Защита от несанкционированного доступа. Одной из главных проблем потребления ЭЭ является предотвращение ее хищения. Несанкционированное вмешательство в работу приборов учета направлено на уменьшение их показаний. В результате такого вмешательства некоторые механические или электромеханические счетчики работают в режиме вычитания, а не сложения. Другие, более старые модели с вращающимися дисками чувствительны к магнитным предметам, замедляющим их вращение, тем самым уменьшая показания счетчика ЭЭ. Используются и другие способы уменьшения показаний механических счетчиков. В МПСЭЭ предусмотрены специальные средства обнаружения и предотвращения хищений ЭЭ, основанные на выявлении «типовых» состояний, характерных для хищений ЭЭ [1]:

- асимметричная нагрузка (замыкание петли обратной связи на землю с целью блокировки снятия показаний счетчика);
- временное размыкание или шунтирование цепи счетчика;
- применение магнитных предметов для насыщения трансформатора тока или остановки счетчика;
- вандализм.

При обнаружении преступного вмешательства счетчик может:

- остановить подачу ЭЭ;
- зафиксировать факт вмешательства в специальном журнале событий;
- передать сообщение в жилищно-коммунальную службу или в «Энергосбыт».

Автоматическое считывание показаний. Одним из важных преимуществ МПСЭЭ перед механическими является автоматическое считывание показаний. Это исключает человеческий фактор, которому свойственны ошибки или даже злоупотребления, а также неудобства как для потребителя, так и для коммунальных служб, особенно при удаленном расположении приборов учета.

Для автоматического считывания показаний счетчиков используют:

- специально создаваемые проводные линии (витые пары), считывание данных учета по которым обычно осуществляется по интерфейсу RS-485;
- существующие телефонные линии;
- существующие распределительные электрические сети;
- существующие сети сотовой связи типа GSM;
- существующие сети спутниковой связи;
- существующие волоконно-оптические линии связи.

Электронные счетчики ЭЭ снабжают также оптическим портом (оптопортом) для считывания данных человеком-оператором по инфракрасному каналу, используемому в случае нарушения со счетчиком автоматической связи.

Защита информации. По мере расширения области применении счетчиков ЭЭ растет также необходимость в безопасности хранения данных и технологий их передачи. Для коммунальных служб является весьма важным обеспечение целостности, доступности и конфиденциальности данных, собранных со счетчиков ЭЭ. Это достигается хранением данных в энергонезависимой памяти счетчиков и применением алгоритмов шифрования при их внешнем хранении. При передаче данных учета по каналам связи также применяют их шифрование.

Гибкое фактурирование. Возможность многотарифного учета ЭЭ посредством МПСЭЭ дает ряд преимуществ, в частности потребителям предлагают более низкие тарифы, когда потребление идет в периоды минимальной нагрузки. Кроме того, значительный процент используемости энергоресурсов смещается за пределы периодов максимальной нагрузки из-за высоких тарифов, установленных в эти периоды времени. Это способствует выравниванию графиков потребления ЭЭ.

Для реализации многотарифного учета МПСЭЭ содержат часы реального времени и календарь для ежедневного отслеживания потребления ЭЭ.

Ряд модификаций счетчиков дает возможность внесения предоплаты за потребление ЭЭ. Для этого потребитель заранее покупает магнитную карточку с фиксированным количеством единиц ЭЭ. Эта карточка вставляется в счетчик, что обеспечивает возможность снабжения ЭЭ в течение заданного периода времени. Такая предоплата снижает затраты на выставление счетов для коммунальных служб и дает возможность потребителям планировать свои ежемесячные расходы.

Управление нагрузкой потребителей. В МПСЭЭ имеется возможность снижения электропотребления вплоть до отключения потребителя в случае задолженности по уплате за ЭЭ. В системах регулирования энергопотребления МПСЭЭ выполняют функции датчиков сигналов, используемых для выработки управляющих воздействий на средства подачи ЭЭ.

Счетчики программируют на предприятии-изготовителе. Их программное обеспечение (ПО) обеспечивает конфигурирование счетчиков и считывание с них данных, определение уровня доступа пользователей к их функциям, удаленный доступ по каналам связи, внесение изменений в их ПО, создание отчетов и файлов баз данных в компьютере, определение конфигурации системы, поддержку связи по цифровым интерфейсам и модемам.

Счетчики функционируют как автономно, так и в составе автоматизированных систем контроля и учета ЭЭ (АСКУЭ), представляющих собой распределенные информационно-измерительные системы, предназначенные для измерения ЭЭ и дистанционного сбора, накопления, обработки и индикации показаний счетчиков ЭЭ. В англоязычной литературе их называют автоматизированными системами для считывания показаний счетчиков (Automated Meter Reading, AMR). АСКУЭ является многоуровневой иерархической системой, на нижнем уровне которой располагаются счетчики ЭЭ, на промежуточных – концентраторы – устройства сбора и передачи данных (УСПД), а на верхнем – координатор – центр сбора и обработки данных. УСПД представляет собой многофункциональное устройство, работающее в автоматическом режиме в составе АСКУЭ и выполняющее прием, хранение, обработку и отображение данных, поступающих к нему либо от счетчиков ЭЭ, либо от УСПД нижестоящих уровней, а также передачу данных на вышестоящие уровни АСКУЭ. Координатор осуществляет сбор данных либо непосредственно со счетчиков ЭЭ, либо с УСПД, а также управление и (или) регулирование электропотребления, синхронизацию текущего

времени счетчиков, конфигурирование и диагностику оборудования системы, защиту информации в ней и т. п.

При функционировании в составе АСКУЭ микропроцессорные счетчики ЭЭ должны удовлетворять ряду специфических требований. Так, согласно российскому нормативному документу «Требования к проектированию и объему оснащения энергетических объектов системами АСКУЭ на оптовом рынке электроэнергии и мощности», они следующие [5].

В качестве приборов коммерческого учета должны применяться счетчики с цифровыми и (или) импульсными выходами. Класс точности счетчиков у субъектов рынка выбирается, исходя из следующих условий:

- на присоединениях 220–1150 кВ должны устанавливаться счетчики класса 0,2;
- на присоединениях 35–110 кВ и присоединениях потребителей с присоединенной мощностью более 5 МВА должны устанавливаться счетчики класса 0,5;
- на присоединениях остальных уровней напряжения должны устанавливаться счетчики класса 1,0;
- на генераторах электростанций мощностью 100 МВт и выше должны устанавливаться счетчики класса 0,2, а на генераторах меньшей мощности – класса 0,5.

Счетчики вновь проектируемых и реконструируемых объектов должны подключаться к измерительным трансформаторам тока (ТТ) и напряжения (ТН), класс точности которых должен соответствовать классу точности счетчиков. Счетчики должны иметь возможность подключения к дополнительному (не по измерительным цепям) источнику питания.

Счетчики должны обеспечивать выполнение следующих функций:

- вычислять и запоминать график усредненной мощности одновременно по всем каналам измерения счетчика с глубиной хранения при 30-минутном интервале усреднения мощности не менее 30 суток для каждого канала. При этом интервал усреднения графика мощности должен задаваться при программировании счетчика с возможностью его выбора из ряда 1, 3, 5, 10, 15, 30, 60 минут;
- проводить самодиагностику в штатном режиме работы;
- вести журнал статуса и событий;

- вести регистрацию времени отсутствия напряжения по каждой фазе.

Счетчики должны иметь встроенные часы с погрешностью хода не более 0,5 сек/сутки. Ход часов должен быть обеспечен встроенной батареей в течение не менее, чем трех лет при отключенном питании. Конструкция счетчиков должна обеспечивать замену батареи без вскрытия их корпуса. Они должны допускать коррекцию времени от УСПД по цифровому интерфейсу, но не в период считывания данных. Счетчики с цифровыми выходами должны иметь цифровые интерфейсы RS-485 и RS-232 со скоростями обмена информацией от 300 до 9600 бит/с, а счетчики с импульсными (телеметрическими) выходами – не менее двух импульсных выходов на измерительный канал с коэффициентом передачи 1000–50 000 имп/кВт·ч. Параметры сигнала: напряжение от УСПД – 12 В; ток в импульсе – 15 мА. Длина линии связи для передачи числоимпульсной информации должна быть не менее 1,5 км. Счетчики должны иметь многофункциональный дисплей для отображения измеряемых величин и служебных параметров. Длительность сохранения информации в счетчиках при отключенном питании должна быть не менее 3 месяцев. Срок службы – не менее 30 лет. Межповерочный интервал – не менее 8 лет. Среднее время наработки на отказ – не менее 50 000 часов.

1.2. Классификация счетчиков

Микропроцессорные счетчики ЭЭ классифицируют по следующим основным признакам.

По точности измерения ЭЭ счетчики относят к одному из классов: 0,2S, 0,2, 0,5S, 0,5, 1. При этом класс точности счетчиков определяют согласно ГОСТ Р 52320–2005 как число, равное пределу основной допускаемой погрешности (выраженной в форме относительной погрешности $\delta_{оп}$ в процентах) для определенных значений тока нагрузки $I_н$ в диапазоне от $0{,}1I_б$ ($I_б$ – базовый ток, т. е. значение тока, являющееся исходным для установления требований к счетчику с непосредственным включением) до $I_{макс}$ ($I_{макс}$ – наибольшее значение тока, при котором счетчик удовлетворяет установленным требованиям точности) или от $0{,}05I_{ном}$ ($I_{ном}$ – значение тока, являющееся исходным для установления требований к счетчику, работающему от трансформатора) до $I_{макс}$ – установленного диапазона измерений.

При этом класс точности устанавливают при коэффициенте активной мощности cos φ = 1, равном отношению активной мощности P_a к полной P (в том числе в случае многофазных счетчиков – при симметричных нагрузках) при испытании счетчика в нормальных условиях (с учетом допускаемых отклонений от номинальных значений), установленных в стандартах, определяющих частные требования.

Литера *S* означает, что класс точности счетчика нормируется, начиная с нижней границы, не 5% $I_{ном}$ (как для счетчиков без литеры, например классов 0,2 и 0,5), а с 1% $I_{ном}$ (ниже этой границы погрешность не нормируется, хотя счетчик и производит измерения электроэнергии, мощность которой превышает чувствительность счетчика).

Верхняя граница установленного диапазона измерения определяется величиной $I_{макс}$, которая для счетчиков трансформаторного включения должна выбираться изготовителем, согласно ГОСТ Р 52320–2005, из множества значений (1,2; 1,5; 2,0 или 6,0) $I_{ном}$. В свою очередь, $I_{ном}$ для таких счетчиков должен иметь значение 1, 2 или 5 А (для счетчиков непосредственного включения выбор стандартных значений базовых токов производится из более широкого диапазона значений 5–100 А и, в частности, для однофазного счетчика должен быть не менее 30 А).

Класс точности «эталонных» счетчиков, применяемых в поверочном оборудовании МПСЭЭ, на один-два порядка выше.

По числу фаз различают однофазные, двухфазные (однофазные с нейтральным проводом) и трехфазные счетчики. В свою очередь, трехфазные счетчики разделяют на трехпроводные и четырехпроводные (с нейтральным проводом). По типу измеряемой ЭЭ различают счетчики активной, реактивной и активно-реактивной (или полной) энергии. По способу включения в сеть различают счетчики непосредственного и трансформаторного включения. По числу направлений учета ЭЭ счетчики разделяют на одно- и двунаправленые (перетоковые), по числу тарифов – на однотарифные и многотарифные, по наличию устройств, предотвращающих хищение электроэнергии, – с устройствами и без них, по типу выходов – с импульсным и (или) цифровым выходом, по наличию средств контроля качества ЭЭ – с наличием и без наличия, по наличию средств обнаружения аварийных ситуаций – с наличием и без наличия, по наличию средств управления нагрузкой – с наличием и без наличия, по наличию средств измерения потерь ЭЭ – с наличием и без

наличия, по наличию средств предоплаты ЭЭ – с наличием и без наличия.

1.3. Принципы функционирования счетчиков

Для измерения ЭЭ в ранних моделях МПСЭЭ использовался метод широтно-импульсной модуляции (ШИМ), амплитудно-импульсной модуляции (АИМ), состоящий в следующем [6].

Биполярные прямоугольные импульсы U_{Γ} формируемые генератором импульсов, модулировались силой тока $i(t)$ электрической сети по методу ШИМ. Полученные при этом сигналы $U_{\text{шим}}$ модулировались сетевым напряжением $u(t)$ и усреднялись за период T сетевого напряжения. В результате этого на выходе устройства усреднения формировался сигнал $U_{\text{вых}}$, прямо пропорциональный средней активной мощности P_a за период T. Последующее суммирование этих сигналов за заданный промежуток времени давало значение активной ЭЭ. Погрешности ее измерения этим способом составляют 0,5% и более.

С целью повышения точности измерения ЭЭ в большинстве современных МПСЭЭ применяют методы, основанные на перемножении мгновенных значений напряжения $u(t) = U \cos wt$ и тока $i(t) = I \cos(\omega t - \varphi)$, где U и I – амплитуды напряжения и тока, φ – фазовый угол между напряжением и током, $\omega = 2\pi/T$ – угловая частота [7–11].

При перемножении $u(t)$ и $i(t)$ и несложных преобразований получают функцию активной мощности

$$p_a(t) = P_a + P\cos(2\omega t - \varphi), \tag{1.1}$$

содержащую величину P_a и переменную составляющую удвоенной частоты. Подобно мгновенным напряжению $u(t)$ и току $i(t)$, мощность $p_a(t)$ называют мгновенной, тогда как P_a является средней активной мощностью.

Полная мощность, развиваемая в нагрузке двухпроводной цепи переменного тока, равна

$$P = \frac{UI}{2} = U_{\text{эфф}} I_{\text{эфф}} \text{ (ВА)}, \tag{1.2}$$

где $U_{эфф} = \frac{U}{\sqrt{2}}$ и $I_{эфф} = \frac{I}{\sqrt{2}}$ – эффективные (действующие) значения напряжения и тока.

Полная мощность является геометрической суммой двух составляющих – активной и реактивной мощностей, равных соответственно

$$P_a = P \cos \varphi \text{ (Вт)}, \quad (1.3)$$

$$P_r = P \sin \varphi \text{ (ВАр)}. \quad (1.4)$$

Величины $\cos \varphi$ и $\sin \varphi$ в формулах (1.3) и (1.4) – это коэффициенты активной и реактивной мощности соответственно.

Мощность P_a развивается на активной части нагрузки, потребляющей энергию, а P_r – на реактивной (индуктивной или емкостной). При наличии реактивной мощности угол сдвига фаз φ может быть в пределах $-90^\circ < \varphi < 90^\circ$, где отрицательные значения соответствуют емкостному характеру нагрузки, а положительные – индуктивному (рис. 1.1). В ряде случаев ток нагрузки становится отрицательным (рис. 1.1), и нагрузка, соответственно, перестает быть нагрузкой и становится источником тока. Для «отрицательных» нагрузок угол сдвига фаз находится в пределах: $90^\circ < \varphi < 270^\circ$, где 270° соответствует углу -90°. МПСЭЭ позволяют измерять электропотребление как «положительных», так и «отрицательных» нагрузок.

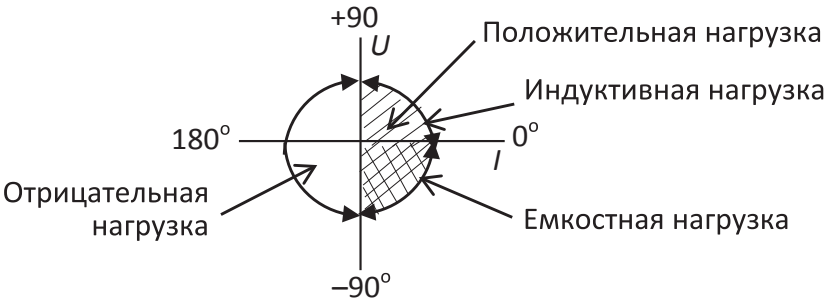


Рис. 1.1. Виды нагрузок при измерении мощности

В соответствии с выражением (1.1) для определения P_a в измерительных интегральных микросхемах (ИМС) выполняют перемножение функций, представляемых в виде электрических сигналов датчиков напряжения и тока, после чего проводят низкочастотную фильтрацию, подавляющую переменную составляющую. Затем вы-

полняют интегрирование и получают значение потребляемой ЭЭ (в ватт-часах). Интегратором обычно служит цифровая пересчетная схема.

Для измерения реактивной мощности вводят дополнительный фазовый сдвиг 90° между функциями напряжения и тока. В остальном измерение реактивной мощности аналогично измерению активной: перемножают функции напряжения и тока (с указанным сдвигом 90°) и получают функцию реактивной мощности (ее мгновенных значений) $p_r(t)$, аналогичную $p_a(t)$ (1.1); затем функцию $p_r(t)$ фильтруют и получают величину, пропорциональную средней реактивной мощности P_r.

Для трехфазных нагрузок в четырехпроводной сети (с нейтральным проводом) мощность определяется суммой ее составляющих в трех фазах – «А», «В», «С». Каждая из составляющих определяется при перемножении: $u_A(t)i_A(t)$, $u_B(t)i_B(t)$ и $u_C(t)i_C(t)$. Для трехфазной трехпроводной сети (без нейтрального провода) мощность определяется как сумма двух составляющих в следующем сочетании напряжений и токов: $u_{AC}(t)i_A(t)$ и $u_{BC}(t)i_B(t)$, где $u_{AC}(t)$, $u_{BC}(t)$ – линейные напряжения, а $i_A(t)$ и $i_B(t)$ – фазные токи.

Другой подход к измерению активной ЭЭ базируется на использовании метода «выборки и хранения», согласно которому информация воспроизводится двумя сигналами постоянного тока, один из которых прямо пропорционален амплитуде линейного напряжения U, а другой – мгновенному значению тока в линии $i(t)$, соответствующего значению U [10]. При этом выделяется фазовый угол φ между напряжением и током, а перемножение обоих сигналов в заданный период времени обеспечивает формирование выходного сигнала, пропорционального ЭЭ, потребляемой нагрузкой и характеризующей изменение коэффициента активной мощности $\cos\varphi$.

Операции цифровой фильтрации, множительно-делительные и т. п., а также синусно-косинусные функции и другие функциональные зависимости в МПСЭЭ эффективно реализуются посредством итерационных алгоритмов, базирующихся на методе «цифра за цифрой» [12–15], который обеспечивает получение значащей цифры результата на каждом итерационном шаге. Такие алгоритмы отличаются простотой вычислений (сдвиги, сложения) и хорошо согласованы со структурой цифровых сигнальных микроконтроллеров (МК) и процессоров (ЦСП), широко применяемых в современных МПСЭЭ.

1.4. Структурная организация счетчиков

Построение МПСЭЭ сводится в простейшем случае к реализации (на МК, ЦСП или специализированных ИМС) модели счетного механизма с импульсным выходом.

Структурная схема однофазного счетчика ЭЭ приведена на рис. 1.2 [7, 8]. Сигналы, прямо пропорциональные напряжению и току в сети, снимаются с датчиков тока и напряжения и перемножаются аналоговой схемой умножения. Полученный аналоговый сигнал поступает на вход преобразователя, где преобразуется в дискретный (импульсный) сигнал. При этом частота следования импульсов прямо пропорциональна мощности. Импульсы поступают на вход МК, который их подсчитывает и преобразует в величины, соответствующие объемам потребленной электроэнергии, в результате чего по мере накопления сигналов показания счетчика ЭЭ изменяются.

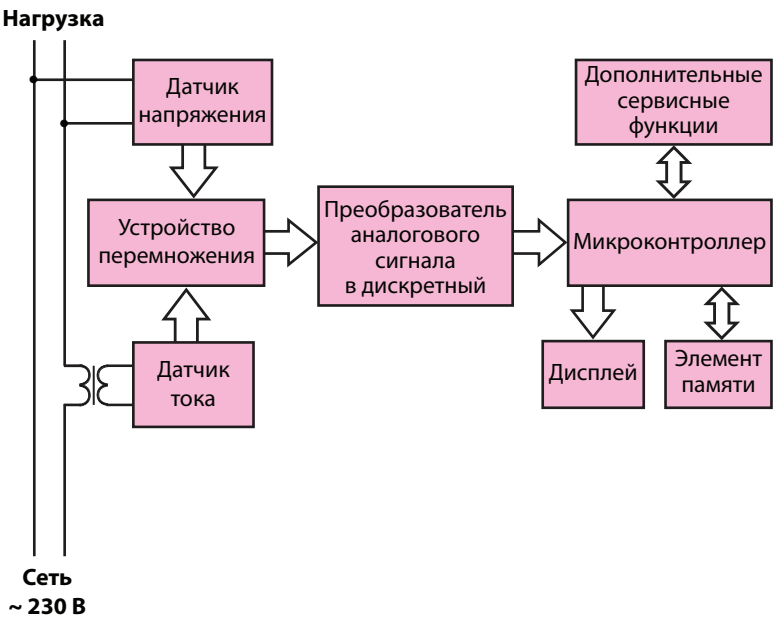


Рис. 1.2. Структурная схема однофазного счетчика ЭЭ

Частые сбои напряжения питания приводят к необходимости использования энергонезависимой памяти (ЭСППЗУ – электрически

стираемого программируемого постоянного запоминающего устройства, называемого также флеш-памятью, Flash ROM, или EEPROM – Electrical Erasable Read-Only Memory) для сохранения показаний счетчика. Поскольку сбои по питанию являются наиболее характерной аварийной ситуацией, такая защита необходима в любом МПСЭЭ.

Простейшим датчиком напряжения является делитель напряжения, а датчиком тока – токовый шунт.

Реализация цифрового счетчика ЭЭ требует специализированных ИМС, способных выполнять перемножение сигналов и предоставлять полученную величину в удобной для МК форме. Например, используют преобразователь активной мощности в частоту следования импульсов. Общее количество пришедших импульсов, подсчитываемое МК, прямо пропорционально потребляемой ЭЭ.

В МПСЭЭ важную роль играют различные дополнительные функции: дистанционное считывание значений ЭЭ и мощности, управление нагрузкой потребителей и ряд других. Применение в них цифрового дисплея (жидкокристаллического индикатора, ЖКИ), управляемого от МК, позволяет программно устанавливать различные режимы вывода информации, например выводить на дисплей значение потребленной ЭЭ за каждый месяц по различным тарифам и суммарную, значения мощности, усредненной за заданный промежуток времени, дату и время и т. п. Многие счетчики содержат механизм отключения нагрузки потребителя с помощью реле, а некоторые – механизм считывания SIM-карт, используемый для предоплаты ЭЭ. Ряд МПСЭЭ содержит встроенную клавиатуру для просмотра их данных в ручном режиме. Все МПСЭЭ имеют специальный импульсный выход, применяемый для их метрологической поверки; число выходов на нем прямо пропорционально измеряемой ЭЭ. Для синхронизации работы счетчиков в составе АСКУЭ они содержат часы реального времени.

При записи в EEPROM значение накопленной ЭЭ может быть утеряно в момент отключения напряжения. Поэтому значения накопленной ЭЭ записываются в EEPROM циклически друг за другом через определенное число изменений показаний счетчика, заданное программно, в зависимости от требуемой точности. Это позволяет избежать потери данных о накопленной ЭЭ. При появлении напряжения МК анализирует все значения, занесенные в EEPROM, и выбирает последнее. Для получения минимальных потерь записывают значения ЭЭ с шагом 100 Вт·ч. Эту величину можно менять программно.

Алгоритм функционирования рассматриваемого счетчика приведен на рис. 1.3 [8]. При включении питания МК конфигурируется в соответствии с программой, считывает из EEPROM последнее сохраненное значение ЭЭ и выводит его на дисплей. Затем МК переходит в режим подсчета импульсов, поступающих от ИМС преобразователя, и, по мере накопления каждого Вт·ч, увеличивает показания счетчика.

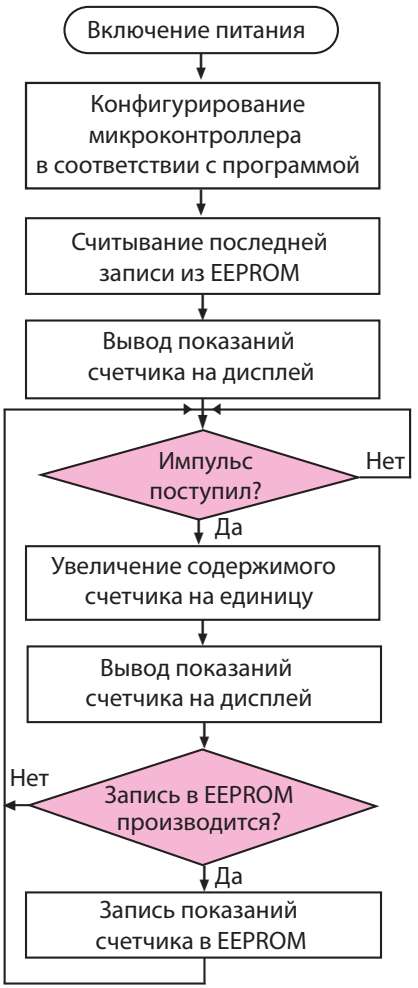


Рис. 1.3. Алгоритм функционирования счетчика ЭЭ

Пример построения простейшего цифрового счетчика ЭЭ на дешевом 8-разрядном МК приведен на рис. 1.4 [8]. Он базируется на использовании недорогой ИМС преобразователя мощности в частоту импульсов типа КР1086ПП1 и 8-разрядного МК MC88HC06K J1. При такой структуре счетчика, МК требуется суммировать число импульсов, выводить информацию на ЖКИ, передавать ее в канал связи по последовательному интерфейсу типа RS-485 и осуществлять ее защиту в различных аварийных режимах.

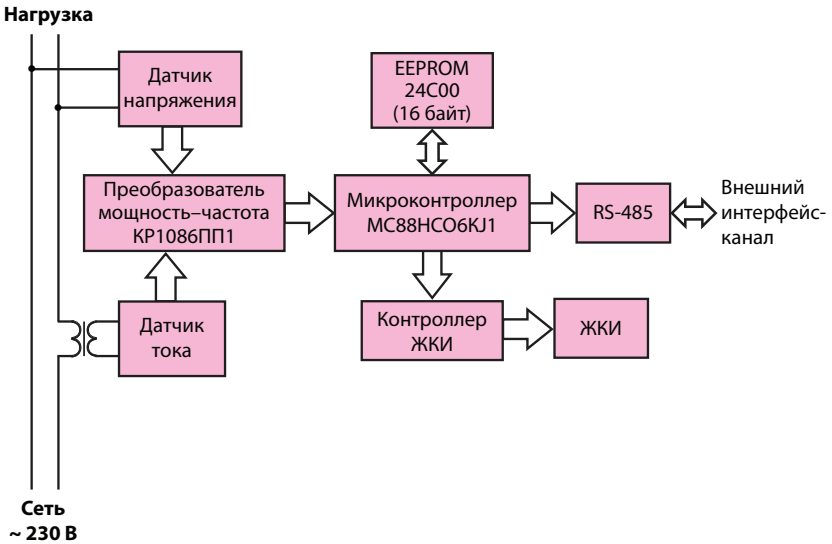


Рис. 1.4. Структурная схема простейшего однофазного счетчика ЭЭ на базе микроконтроллера MC88HC06KJ1

Подобную структуру имеет также трехфазный счетчик активной энергии ЦЭ6823М ставропольского концерна «Энергомера» [16]. Принцип его действия основан на перемножении входного сигнала тока и напряжения по методу «ШИМ–АИМ» с последующим преобразованием аналогового сигнала, прямо пропорционального входной мощности, в частоту следования импульсов. Суммирование этих импульсов дает количество активной ЭЭ.

Структурная схема счетчика ЦЭ6823М приведена на рис. 1.5. Он состоит из следующих узлов: жидкокристаллического индикатора (ЖКИ), светодиодного индикатора (И), источника вторичного питания (ИВП), МК, модуля импульсных входов (МИ), оптического

порта (ОП), ЭСППЗУ, преобразователя (Пр.), реле управления нагрузками (РУН), супервизора (СВ), телеметрического выхода (ТМ) и часов реального времени (ЧРВ).

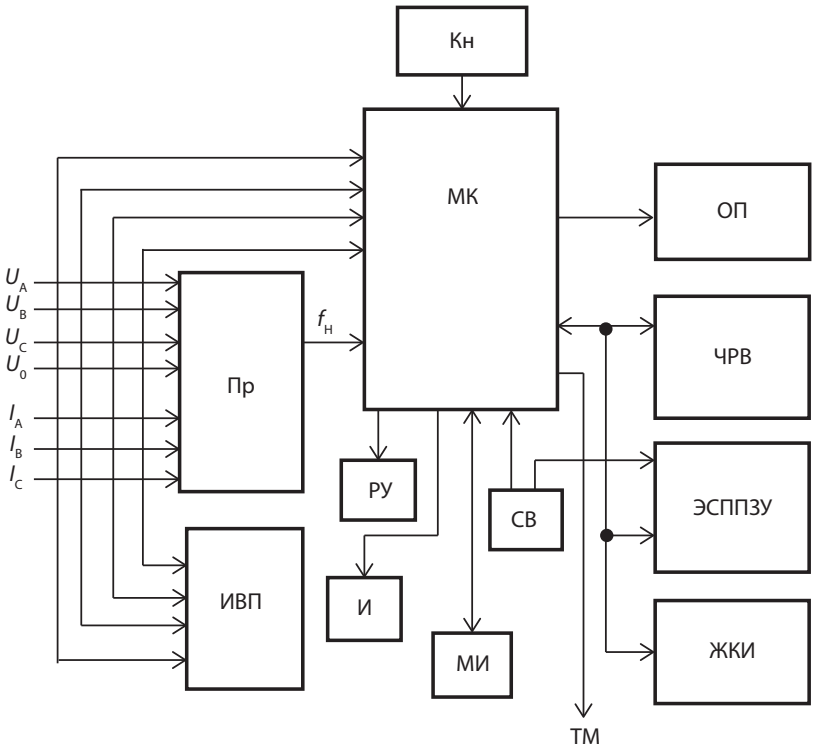


Рис. 1.5. Структурная схема счетчика ЦЭ 6823М

Пр. представляет собой аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с предварительным преобразованием мощности в аналоговый сигнал по методу ШИМ–АИМ и последующим преобразованием аналогового сигнала в импульсный сигнал $f_н$, прямо пропорциональный потребленной ЭЭ. ИВП преобразует переменные входные напряжения в постоянные напряжения, необходимые для питания всех узлов счетчика. МК производит подсчет входных импульсов, расчет потребляемой энергии, осуществляет управление и обмен информацией с другими узлами и схемами счетчика. СВ формирует сигнал сброса при включении и отключении питания, а также выдает сигнал аварии питания при снижении входного на-