

# Содержание курса «Средства измерения электрической энергии»

**7**

**Микросхемы для построения счетчиков  
электроэнергии**

**8**

**Измерительные трансформаторы тока и  
напряжения**

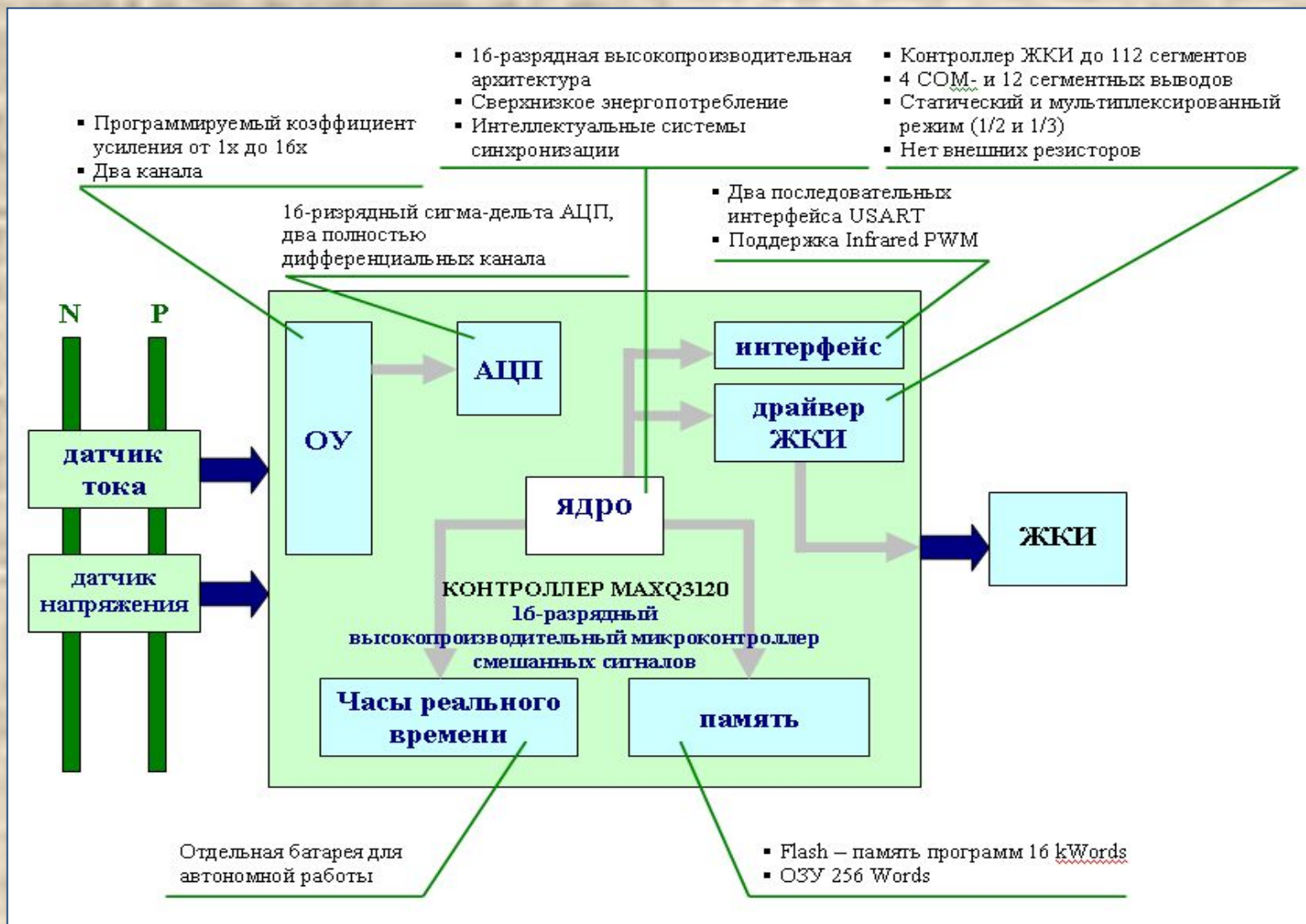
**9**

**Сравнение погрешности измерения электрической  
энергии трансформаторного счетчика и счетчика  
прямого включения в трехпроводную линию 10 кВ**

# 7. Микросхемы для счетчиков электроэнергии

- 7.1** MAXQ-3120 фирмы MAXIM
- 7.2** ADE7751 фирмы Analog Devices
- 7.3** ADE7751 фирмы Analog Devices
- 7.4** ADE7751 фирмы Analog Devices
- 7.5** ADE7751 фирмы Analog Devices
- 7.6** ADE7751 фирмы Analog Devices
- 7.7** ADE7751 фирмы Analog Devices
- 7.8** SPM3D фирмы Easy Meter
- 7.9** Сравнительная таблица микросхем для построения электросчетчиков

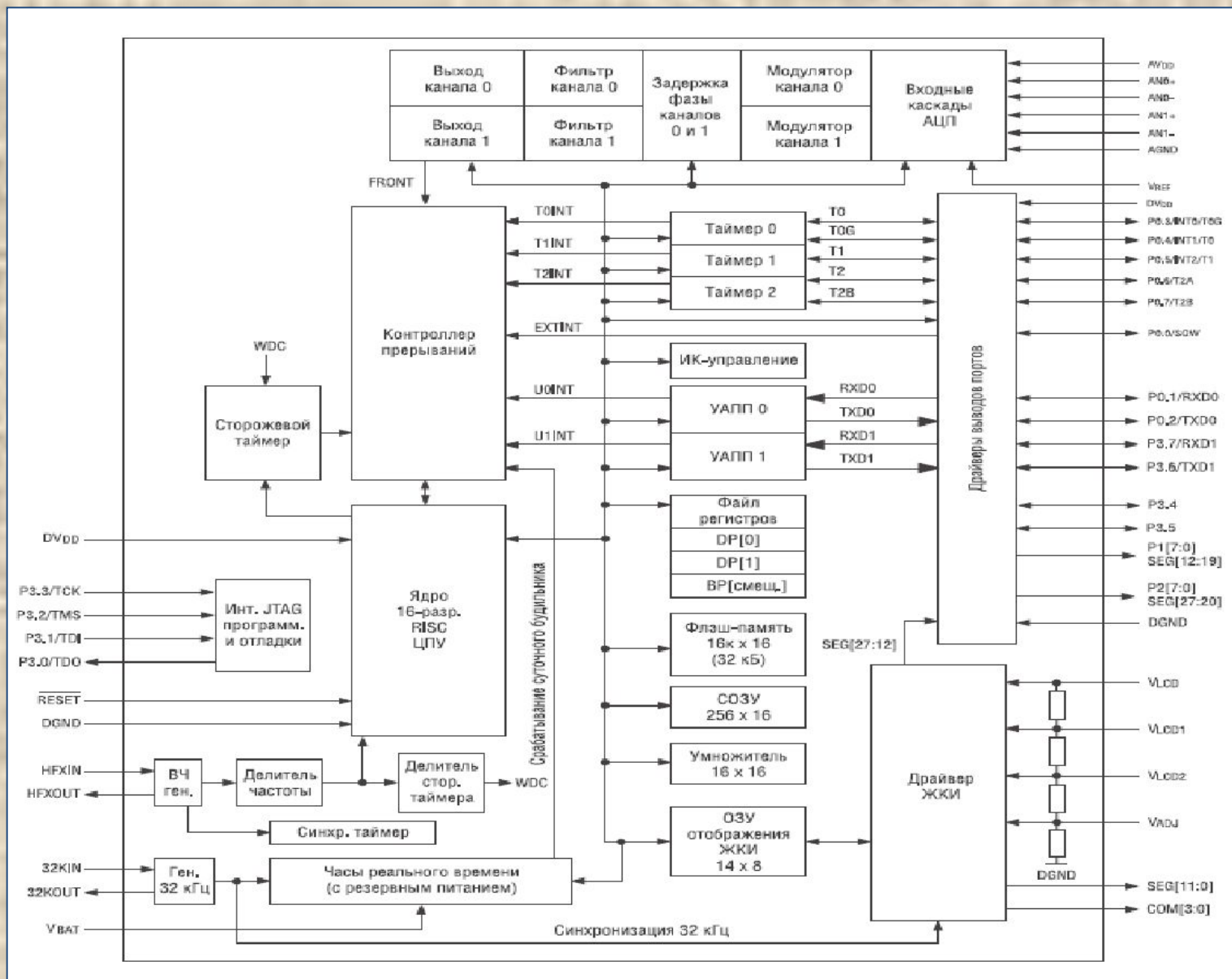
# 7.1.1. Микросхемы для построения счетчиков



Счетчик электроэнергии на основе микросхемы MAXQ-3120



# 7.1.2. Микросхемы для построения счетчиков



Структурная схема микроконтроллера MAXQ3120

## 7.1.3. Микросхемы для построения счетчиков

### Отличительные особенности микроконтроллера МАХQ3120 :

1. Высокоэффективное, экономичное Поразрядное ядро RISC
  - Рабочая частота от 0 до N МГц, производительность до 1 млн.операций в сек./ МГц
  - Напряжение питания ядра и ввода-вывода 3.3В
  - 33 инструкции, большинство из которых выполняются за один машинный цикл
  - Три отдельных указателя данных ускоряют перемещение данных с автоматически инкрементом/декрементом
  - 16-уровневый аппаратный стек
  - 16-разрядное слово инструкции, 16-разрядная шина данных
  - 16 x 16 разр. рабочих регистров общего назначения
  - Оптимизировано под Си-компилятор (высокое быстродействие плотность кода)
2. Память программ и данных
  - флэш-память емкостью 16 кбайт
  - 1 млн. циклов записи/ стирания
  - 256 байт внутреннего ОЗУ данных
  - программирование через интерфейс JTAG
3. Два 16-разрядных сигма-дельта АЦП
  - Дифференциальные входы
  - Программируемое усиление 1x или 16x
  - Встроенные фильтры
  - Цифровая фазовая компенсация и подстраиваемый источник опорного напряжения

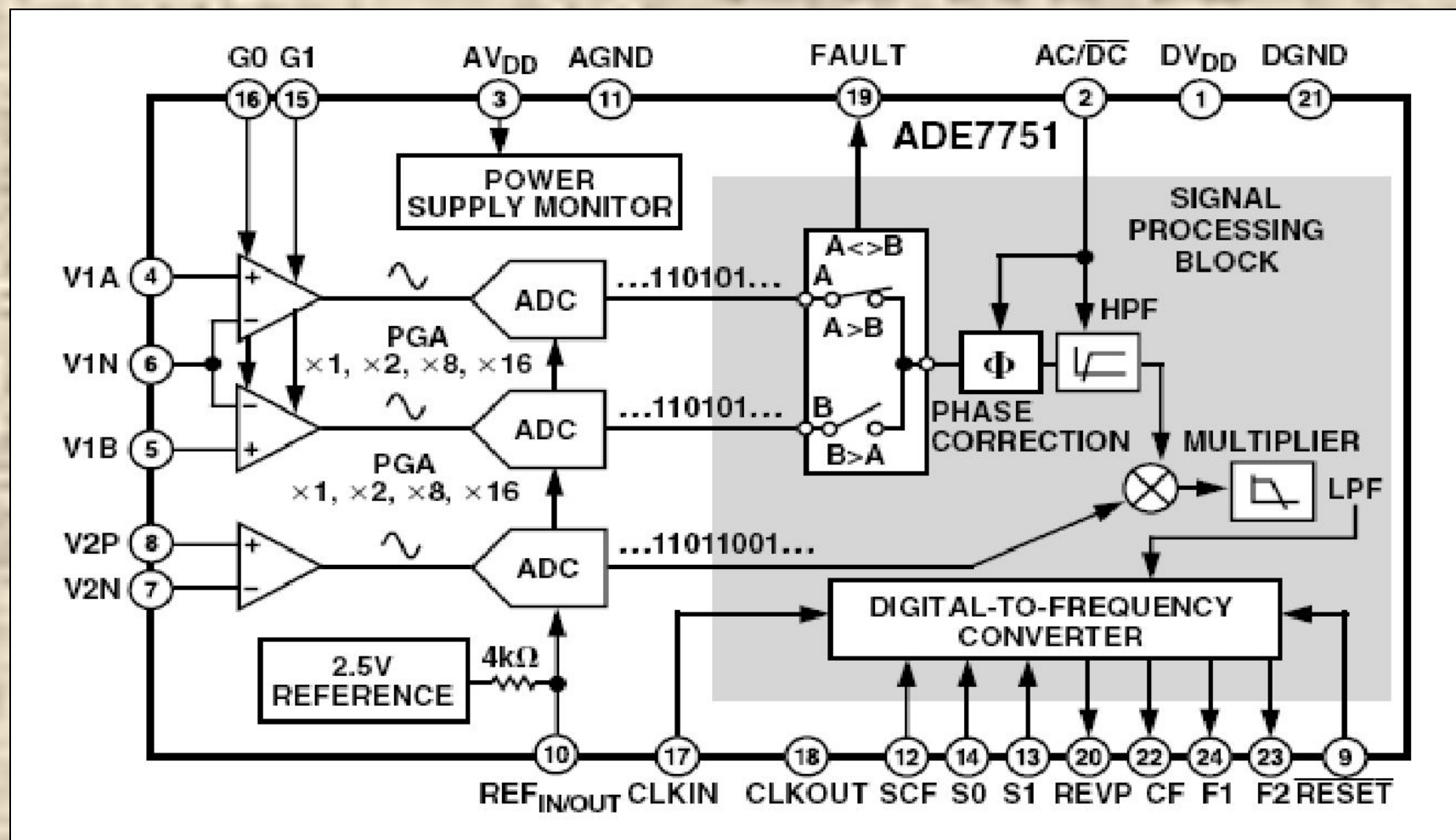
## 7.1.4. Микросхемы для построения счетчиков

**Отличительные особенности микроконтроллера МАХQ3120 (продолжение):**

4. Периферийные устройства
  - До 32 линий ввода-вывода общего назначения
  - 112 сегментный драйвер жки
  - До 4 общих линий и 28 сегментных
  - Поддержка статической работы и смещений 1/2 и 1/3
  - Не требуются внешние резисторы
  - Два последовательных USART, один из них — с поддержкой инфракрасной шим
  - Однотактное аппаратное перемножающее устройство 16 x 16 и 40-разрядный накопитель
  - Три 16-разрядных программируемых таймера-счетчика, один из них — с поддержкой инфракрасной ШИМ
  - 8-разрядный системный таймер/сигнализатор
  - 32-разрядные часы реального времени с резервным питанием, цифровой настройкой и суточным будильником
  - Программируемый сторожевой таймер
5. Гибкий интерфейс программирования
  - Загрузчик упрощает внутрисистемное программирование через интерфейс JTAG
  - Поддержка внутрисистемного программирования флэш-памяти
6. Потребляемая мощность
  - Работа флэш-памяти: < 28 мА при 8 МГц, 3,3В
  - В «спящем» режиме: 320 мкА
  - Экономичный режим деления на 256



## 7.2.1. Микросхемы для построения счетчиков



Функциональная схема ADE7751

# 7.2.2. Микросхемы для построения счетчиков

## ОСОБЕННОСТИ микросхемы ADE7751

1. Высокая точность; счетчик поддерживает стандарт 50 Гц/60 Гц IEC 687/1036
2. Ошибка менее 0,1% при динамическом диапазоне 500:1
3. ИС ADE7751 выдает значение средней активной мощности на частотных выходах F1 и F2
4. Высокочастотный выход CF предназначен для калибровки и выдает значение мгновенной активной мощности
5. Позволяет использовать 2 трансформатора тока.
6. Два логических выхода (FAULT и REVP) можно использовать для индикации возможного неправильного подключения к сети и состояния неисправности.
7. Прямое управление электромеханическими счетными механизмами и двухфазными шаговыми двигателями (выходы F1 и F2)
8. Усилитель с программируемым коэффициентом усиления в канале измерения тока позволяет использовать шунт с малой величиной сопротивления
9. Собственные встроенные АЦП и цифровой сигнальный процессор обеспечивают высокую точность в широком диапазоне условий и долговременную стабильность
10. Встроенный контроль напряжения источника питания
11. Встроенная защита от самохода счетчика (имеется порог мощности нагрузки, начиная с которого счетчик работает)
12. Встроенный источник опорного напряжения  $2,5 \text{ В} \pm 8\%$  (типичный дрейф составляет  $30 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ) с возможностью подключения внешнего источника опорного напряжения
13. Один источник питания 5 В, низкая потребляемая мощность (типичное значение 15 мВт)
14. Недорогая КМОП технология



## 7.2.3. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7751

Номер вывода	Обозначение	Описание
1	DVDD	Вывод питания цифровой части ИС. Через этот вывод питаются цифровые схемы, входящие в ИС ADE7751. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, на этот вывод необходимо подать напряжение питания $5\text{ В} \pm 5\%$ . Этот вывод должен быть развязан конденсатором емкостью $10\text{ мкФ}$ и параллельно подключенным керамическим конденсатором емкостью $0,1\text{ мкФ}$ .
2	AC/DC	Включение фильтра высокой частоты. Этот логический вход предназначен для включения фильтра высокой частоты в канале V1 (канале измерения тока). Фильтр высокой частоты включается подачей на данный вывод уровня логической единицы. Фазочастотная характеристика фильтра компенсирована в частотном диапазоне от $45\text{ Гц}$ до $1\text{ кГц}$ . В устройствах измерения мощности фильтр высокой частоты должен быть включен.
3	AVDD	Вывод питания аналоговой части ИС. Этот вывод обеспечивает питание аналоговых схем, входящих в ИС ADE7751. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, на этот вывод необходимо подать напряжение питания $5\text{ В} \pm 5\%$ . Должны быть приняты все меры и обеспечена необходимая развязка для минимизации пульсаций и шумов источника питания на этом выводе. Развязка этого вывода должна быть произведена на аналоговую заземляющую поверхность AGND с помощью конденсатора емкостью $10\text{ мкФ}$ и параллельно подключенного керамического конденсатора емкостью $0,1\text{ мкФ}$ .
4, 5	V1A, V1B	Аналоговые входы канала V1 (канала измерения тока). Эти входы – полностью дифференциальные входы напряжения с максимально допустимым уровнем дифференциального сигнала $\pm 660\text{ мВ}$ относительно вывода V1N, при котором будут обеспечены параметры, соответствующие техническому описанию. Максимально допустимый уровень сигнала на этих выводах относительно AGND составляет $\pm 1\text{ В}$ . Оба входа имеют внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection). Эти входы могут выдержать напряжение $\pm 6\text{ В}$ без риска необратимого повреждения ИС.

## 7.2.4. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7751

Номер вывода	Обозначение	Описание
6	V1N	Отрицательный вход дифференциального сигнала входов V1A и V1B. Максимально допустимый уровень сигнала $\pm 1$ В относительно AGND. Вход имеет внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection), может выдержать напряжение $\pm 6$ В без риска необратимого повреждения ИС.
7, 8	V2N, V2P	Отрицательный и положительный входы канала V2 (канала измерения напряжения). Эти входы – полностью дифференциальные входы напряжения с максимально допустимым уровнем дифференциального сигнала $\pm 660$ мВ, при котором будут обеспечены параметры, соответствующие техническому описанию. Максимально допустимый уровень сигнала на этих выводах относительно AGND составляет $\pm 1$ В. Оба входа имеют внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection). Эти входы могут выдержать напряжение $\pm 6$ В без риска необратимого повреждения ИС.
9	RESET	Вывод сброса ИС ADE7755. Низкий логический уровень, поданный на этот вход, будет удерживать АЦП и цифровые схемы в состоянии сброса. Подача низкого уровня на этот вход приведет к сбросу внутренних регистров ИС ADE7751.
10	REFIN/OUT	Вход/выход источника опорного напряжения. Этот вывод обеспечивает доступ к внутреннему источнику опорного напряжения. Источник имеет номинальную величину напряжения $2,5 \text{ В} \pm 8\%$ и типичный температурный коэффициент $30 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . К этому выводу может быть подключен внешний источник опорного напряжения. В любом случае необходимо обеспечить развязку этого вывода относительно AGND с помощью керамического конденсатора емкостью 1 мкФ и керамического конденсатора емкостью 0,1 мкФ.
11	AGND	Этот вывод обеспечивает заземление аналоговых схем, входящих в ИС ADE7751, то есть АЦП и источника опорного напряжения. Этот вывод должен быть связан с аналоговой заземляющей поверхностью печатной платы. Аналоговая заземляющая поверхность является заземлением для всех аналоговых схем, таких как антиалайзинговые фильтры и преобразователи тока и напряжения. Для хорошего подавления шума аналоговая заземляющая поверхность должна быть соединена с цифровой заземляющей поверхностью в единственной точке. Конфигурация заземления в виде звезды обеспечивает изоляцию шумных цифровых токов от аналоговых схем.



## 7.2.5. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7751

Номер вывода	Обозначение	Описание
12	SCF	Выбор частоты калибровки. Этот логический вход используется для выбора частоты на выходе калибровки CF. В таблице IV показано, каким образом выбирается частота калибровки.
13, 14	S1, S0	Эти логические входы используются для выбора одной из четырех возможных частот для преобразователя цифрового сигнала в частоту. Возможность выбора обеспечивает конструктору большую гибкость при проектировании счетчика электроэнергии. См. раздел "Выбор частоты для счетчика электроэнергии".
15, 16	G1, G0	Эти логические входы используются для выбора одного из четырех возможных коэффициентов усиления для аналоговых выводов V1A и V1B. Возможные значения коэффициента усиления 1, 2, 8 и 16. См. раздел "Аналоговый вход".
17	CLKIN	К этому логическому входу можно подключить внешний генератор тактовых импульсов. Как альтернативный способ, для получения тактовых импульсов возможно подключение к выводам CLKIN и CLKOUT кварцевого резонатора с параллельным резонансом и со срезом типа AT. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, частота тактовых импульсов должна быть равна 3,579545 МГц. Вместе с кварцевым резонатором к входу схемы генератора необходимо подключить конденсаторы емкостью от 22 пФ до 33 пФ (керамические).
18	CLKOUT	Кварцевый резонатор может быть подключен между этим выводом и CLKIN как описано выше, чтобы обеспечить работу генератора тактовых импульсов в ИС ADE7755. Вывод CLKOUT может быть подключен к одному входу КМОП, когда ко входу CLKIN подключен внешний генератор тактовых импульсов или если используется кварцевый резонатор.

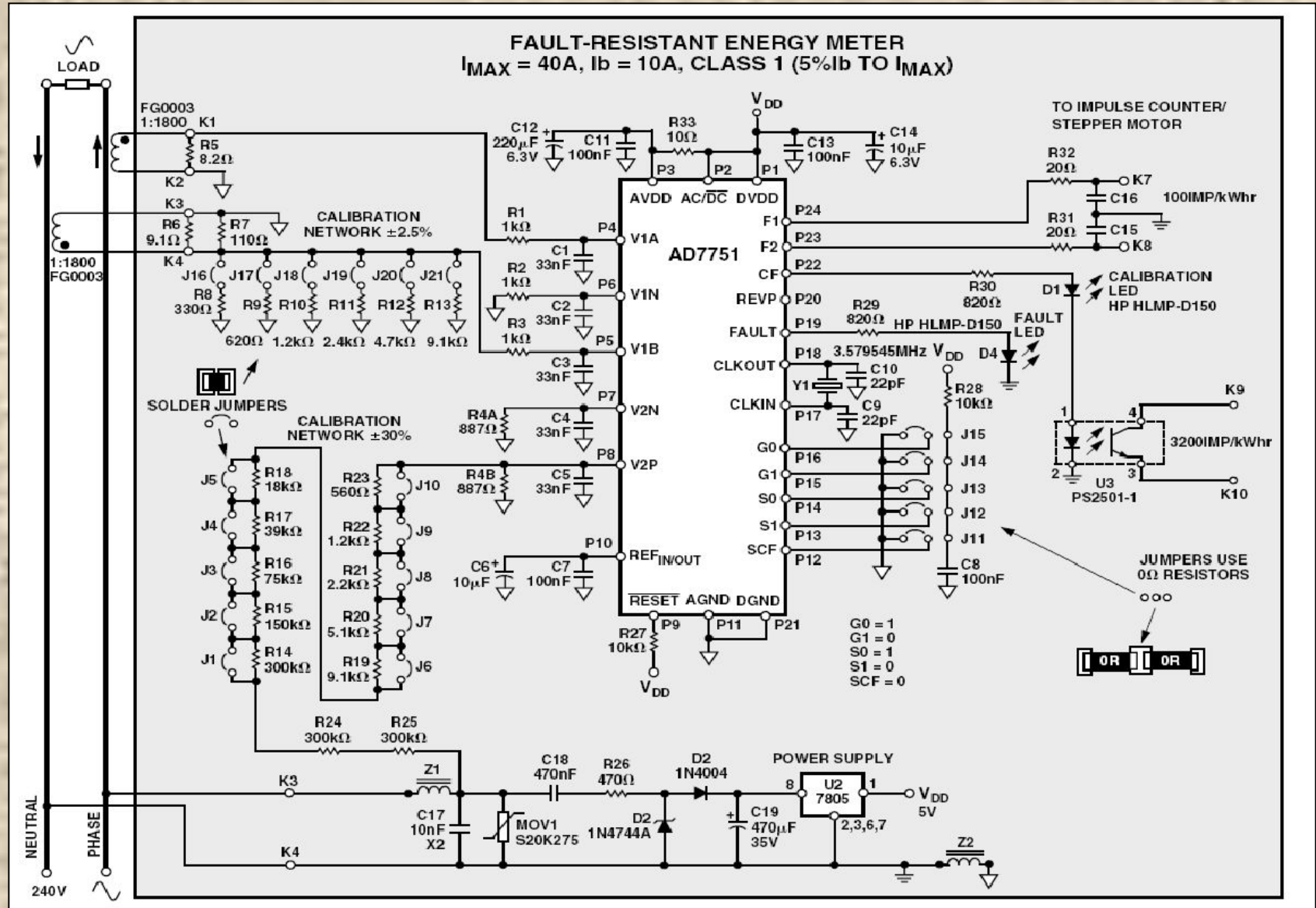


## 7.2.6. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7759

Номер вывода	Обозначение	Описание
19	FAULT	На этом логическом выходе появляется напряжение логической единицы, когда ИС обнаруживает неисправность. Неисправность определяется когда сигналы на выводах V1A и V1B отличаются больше чем на 12,5 %. Этот вывод сбрасывается на ноль когда не обнаружено условие неисправности.
20	REVP	На этом логическом выходе появляется напряжение логической единицы, когда ИС обнаруживает, что мощность отрицательна, т.е. когда фазовый угол между напряжением и током превышает 90°. Этот выход не фиксируется и сбрасывается, как только мощность снова становится положительной. Этот выход меняет свое состояние в момент, когда импульс появляется на выходе CF.
21	DGND	Этот вывод обеспечивает заземление цифровых схем, входящих в ИС ADE7751, то есть перемножителя, фильтров, и преобразователя цифрового сигнала в частоту. Этот вывод должен быть связан с аналоговой заземляющей поверхностью печатной платы. Цифровая заземляющая поверхность является заземлением для всех цифровых схем, таких как счетчики (механические и цифровые), микроконтроллеры и светодиодные индикаторы. Для хорошего подавления шума аналоговая заземляющая поверхность должна быть соединена с цифровой заземляющей поверхностью в единственной точке, то есть должна быть обеспечена конфигурация заземления в виде звезды.
22	CF	Частотный выход, выдающий сигнал частоты для калибровки. Выдает информацию о мгновенном значении активной мощности. Этот выход предназначен для целей калибровки. Также см. описание вывода SCF.
23, 24	F2, F1	Низкочастотные импульсные выходы. F1 и F2 выдают информацию о средней активной мощности. Эти импульсные выходы могут быть использованы для прямого управления электромеханическими счетными механизмами.

# 7.2.7. Микросхемы для построения счетчиков



# 7.2.8. Микросхемы для построения счетчиков

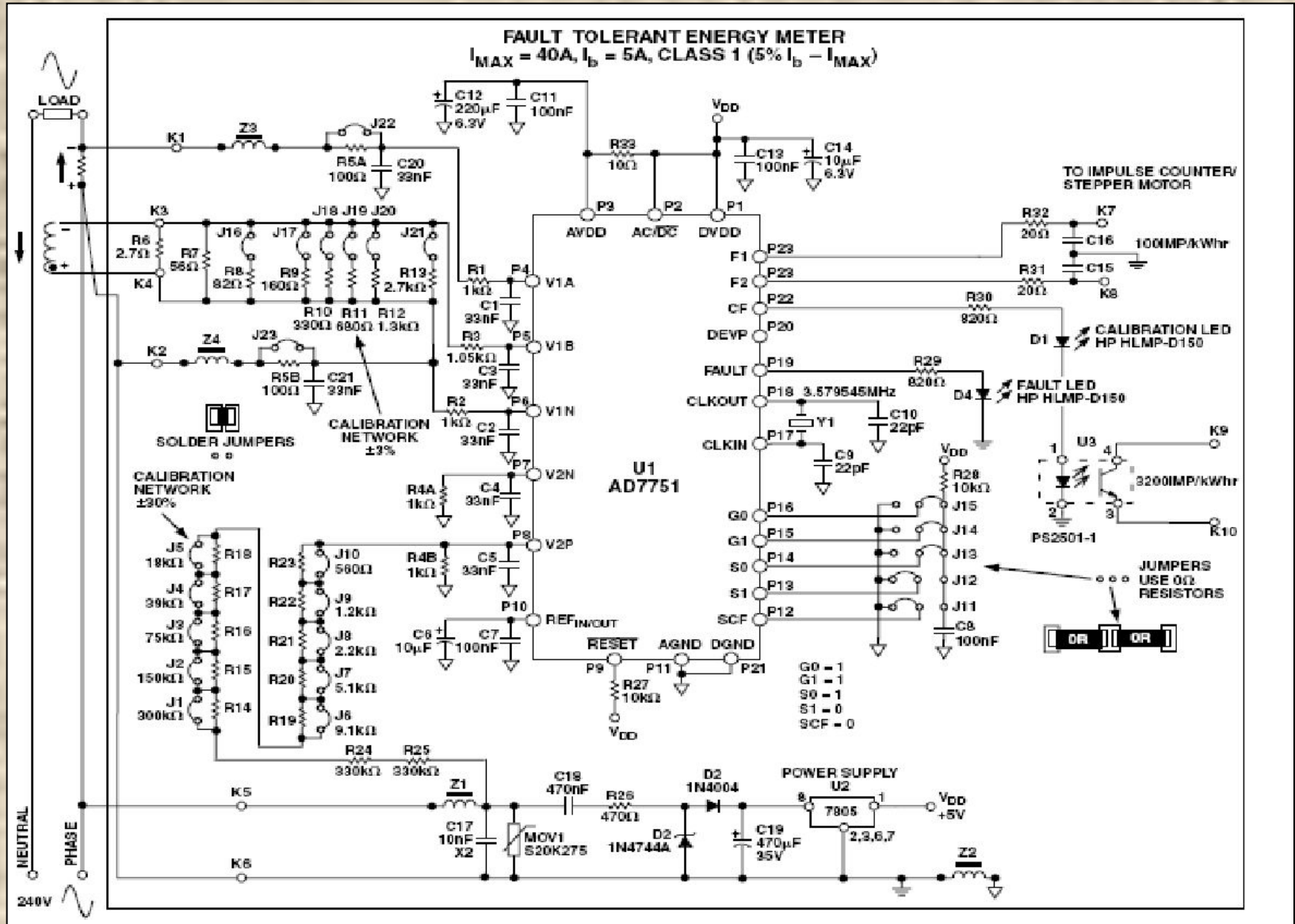
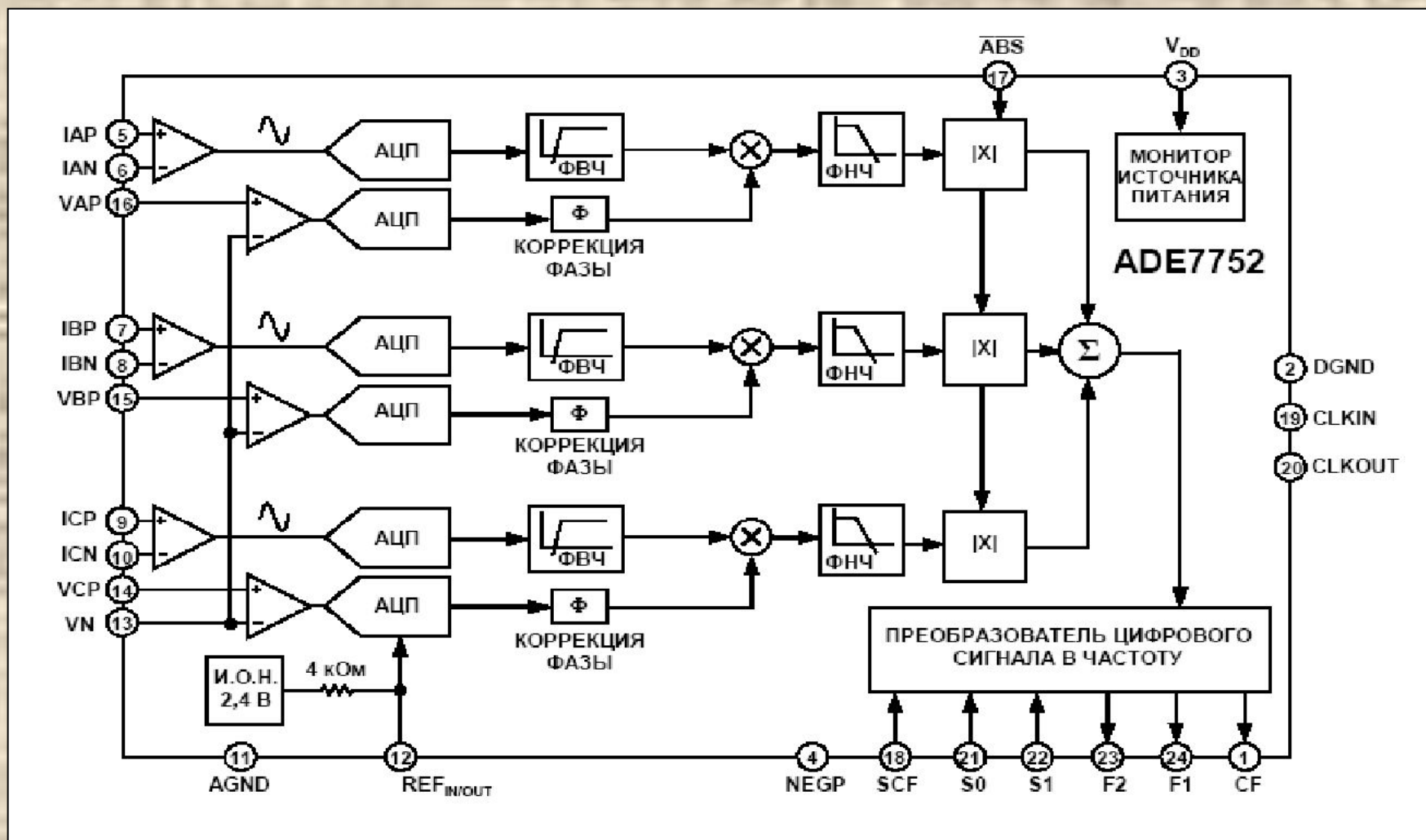


Схема однофазного счетчика электроэнергии с сопротивлением подделки на основе AD7751



## 7.3.1. Микросхемы для построения счетчиков



Функциональная схема ADE7752

## 7.3.2. Микросхемы для построения счетчиков

### ОСОБЕННОСТИ микросхемы ADE7752

1. Высокая точность; счетчик поддерживает стандарт 50 Гц/60 Гц IEC 687/61036
2. Погрешность менее 0,1% при динамическом диапазоне 500:1
3. Совместим с трехфазными трехпроводными и четырехпроводными сетями
4. ИС ADE7752 выдает значение средней активной мощности на частотных выходах F1 и F2
5. Высокочастотный выход CF предназначен для калибровки и выдает значение мгновенной активной мощности
6. Логический выход NEGP можно использовать для индикации возможного неправильного подключения к сети или отрицательной мощности
7. Напрямую подключается к электромеханическим счетным механизмам и двухфазным шаговым двигателям (выходы F1 и F2)
8. Собственные встроенные АЦП и цифровой сигнальный процессор обеспечивают высокую точность в широком диапазоне условий окружающей среды и долговременную стабильность
9. Встроенный контроль напряжения источника питания
10. Встроенная защита от самохода счетчика (имеется порог мощности нагрузки, начиная с которого счетчик регистрирует энергию)
11. Встроенный источник опорного напряжения 2,4 В $\pm$ 8% (типичный дрейф составляет 20·10<sup>-6</sup>/°С) с возможностью подключения внешнего ИОН
12. Один источник питания 5 В, низкая потребляемая мощность (типичное значение 60 мВт)
13. Недорогая КМОП технология

# 7.3.3. Микросхемы для построения счетчиков

## ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7752

Номер вывода	Обозначение	Описание
1	CF	Выход сигнала калибровки. Выдает в виде частоты информацию о мгновенном значении активной мощности. Этот выход предназначен для использования в качестве калибровочного. Также см. описание вывода SCF.
2	DGND	Этот вывод обеспечивает заземление цифровых схем, входящих в ИС ADE7752, то есть перемножителей, фильтров и преобразователя цифрового сигнала в частоту. Так как цифровые токи микросхемы ADE7752 невелики, то данный вывод можно соединять с аналоговой заземляющей поверхностью устройства.
3	V <sub>DD</sub>	Вывод питания ИС. Через этот вывод питаются цифровые схемы, входящие в ИС ADE7752. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, на этот вывод необходимо подать напряжение $5\text{ В} \pm 5\%$ . Этот вывод должен быть развязан на "землю" конденсатором емкостью 10 мкФ и параллельно подключенным керамическим конденсатором емкостью 0,1 мкФ.
4	NEGP	На этом логическом выходе появляется сигнал логической единицы при обнаружении микросхемой отрицательной мощности в какой-либо фазе, т.е. когда фазовый угол между напряжением и током превышает $90^\circ$ . Этот выходной сигнал не фиксируется и сбрасывается, как только мощность снова становится положительной. См. раздел "Информация об отрицательной мощности".
5, 6; 7, 8; 9, 10	IAP, IAN; IBP, IBN; ICP, ICN	Аналоговые входы канала измерения тока. Этот канал предназначен для подключения датчика тока и далее упоминается в данном документе как канал тока. Данные входы – полностью дифференциальные входы напряжения с максимально допустимым уровнем дифференциального сигнала $\pm 0,5\text{ В}$ . См. раздел "Аналоговые входы". Входы имеют внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection). Эти входы могут выдержать напряжение $\pm 6\text{ В}$ без риска необратимого повреждения ИС.



# 7.3.4. Микросхемы для построения счетчиков

## ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7752

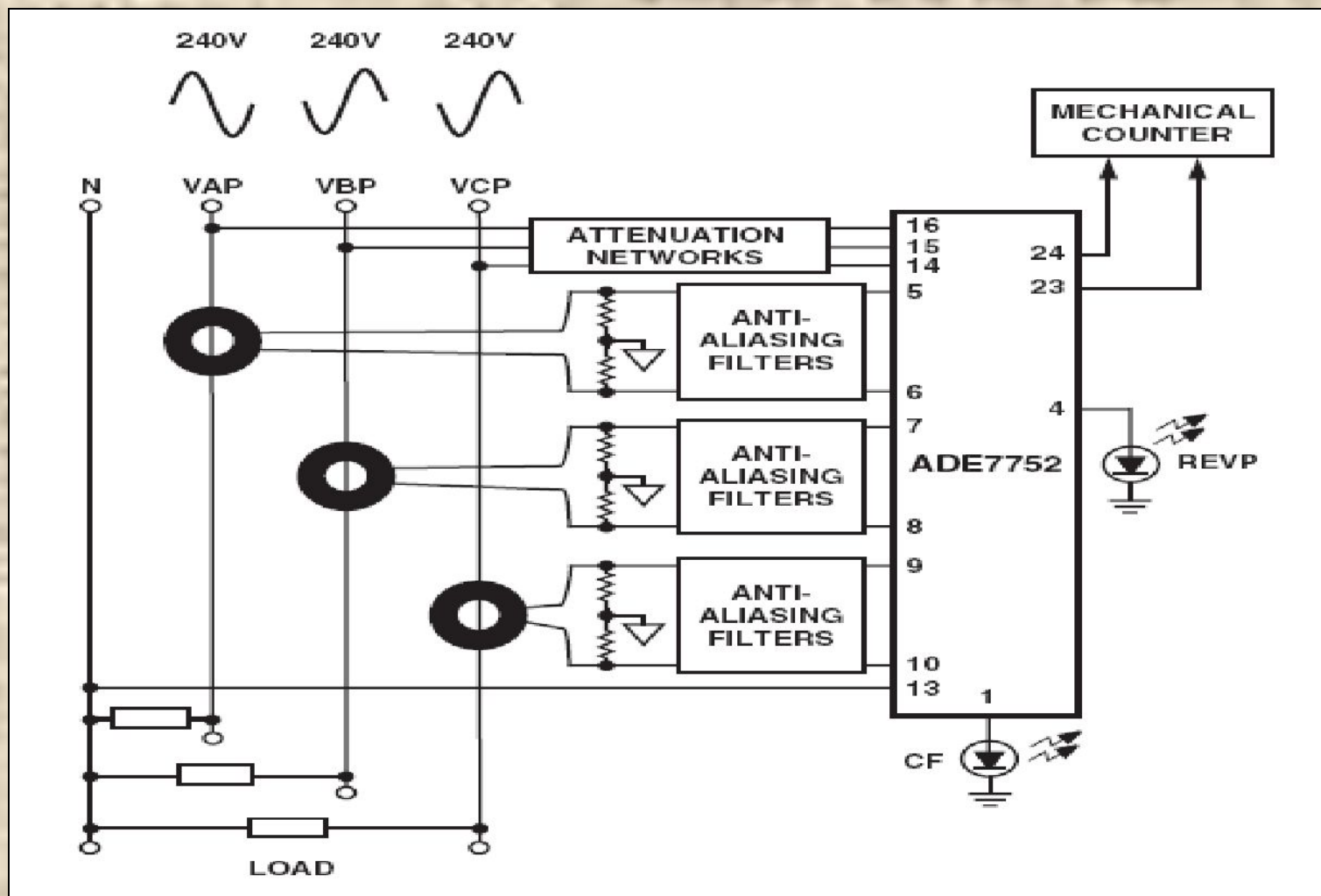
Номер вывода	Обозначение	Описание
11	AGND	Этот вывод обеспечивает заземление аналоговых схем, входящих в ИС ADE7752, то есть АЦП, датчика температуры и источника опорного напряжения. Этот вывод должен быть связан с аналоговой заземляющей поверхностью печатной платы или с наиболее свободной от помех шиной заземления системы. Данная шина (поверхность) заземления является заземлением для всех аналоговых схем, таких как антиалайзинговые фильтры, преобразователи тока и напряжения и т.д. Для того, чтобы свести шумы заземления ИС ADE7752 к минимуму, аналоговая заземляющая поверхность должна быть соединена с цифровой заземляющей поверхностью в единственной точке. Допустимо располагать ИС ADE7752 полностью на аналоговой заземляющей поверхности.
12	REF <sub>IN/OUT</sub>	Данный вывод обеспечивает доступ ко встроенному источнику опорного напряжения. Величина опорного напряжения внутреннего источника составляет $2,4 \text{ В} \pm 8\%$ и имеет типичный температурный коэффициент $20 \cdot 10^{-6}/^\circ\text{C}$ . К этому выводу может быть подключен внешний источник опорного напряжения. В любом случае необходимо обеспечить развязку этого вывода на AGND с помощью керамического конденсатора емкостью 1 мкФ.
13–16	VN, VCP, VBP, VAP	Аналоговые входы канала измерения напряжения. Этот канал предназначен для подключения датчика-преобразователя напряжения и далее упоминается в данном документе как канал тока. Данные входы – однополярные входы напряжения с максимально допустимым уровнем сигнала $\pm 0,5 \text{ В}$ относительно вывода VN. Все входы имеют внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection). Эти входы могут выдержать напряжение $\pm 6 \text{ В}$ без риска необратимого повреждения ИС.
17	ABS	С помощью данного логического входа можно задавать режим суммирования сигналов энергии трех фаз. Разработчик может включить режим арифметического суммирования трех значений энергии (на вход ABS подано напряжение высокого логического уровня) или режим суммирования абсолютных величин (на вход ABS подано напряжение высокого логического уровня). См. раздел "Режим суммирования трех значений энергии".

## 7.3.5. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7752

Номер вывода	Обозначение	Описание
18	SCF	Выбор частоты калибровки. Этот логический вход используется для выбора частоты на выходе CF. В таблице IV показано, каким образом выбирается частота калибровки.
19	CLKIN	Вход тактовых импульсов для АЦП и схем цифровой обработки сигналов. К этому логическому входу можно подключить внешний генератор тактовых импульсов. Как альтернативный способ, для получения тактовых импульсов возможно подключение к выводам CLKIN и CLKOUT кварцевого резонатора с параллельным резонансом и со срезом типа AT. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, частота тактовых импульсов должна быть равна 10 МГц. Вместе с кварцевым резонатором к входу схемы генератора необходимо подключить керамические конденсаторы емкостью от 22 пФ до 33 пФ. По поводу требований к емкости конденсаторов нагрузки обращайтесь к технической документации, предоставляемой производителем кварцевого резонатора.
20	CLKOUT	Между этим выводом и выводом CLKIN может быть подключен кварцевый резонатор, как описано выше, обеспечивающий работу генератора тактовых импульсов в ИС ADE7752. Вывод CLKOUT может быть подключен к одному входу КМОП, когда ко входу CLKIN подключен внешний генератор тактовых импульсов или если используется кварцевый резонатор.
21, 22	S0, S1	Эти логические входы используются для выбора одной из четырех возможных частот для преобразователя цифрового сигнала в частоту. Возможность выбора частоты обеспечивает большую гибкость при проектировании счетчика. См. раздел "Выбор частоты для счетчика электроэнергии".
23, 24	F1, F2	Низкочастотные импульсные выходы. F1 и F2 выдают информацию о средней активной мощности. Эти импульсные выходы могут быть использованы для прямого управления электромеханическими счетными механизмами или двухфазными шаговыми двигателями. См. раздел "Передаточная функция".

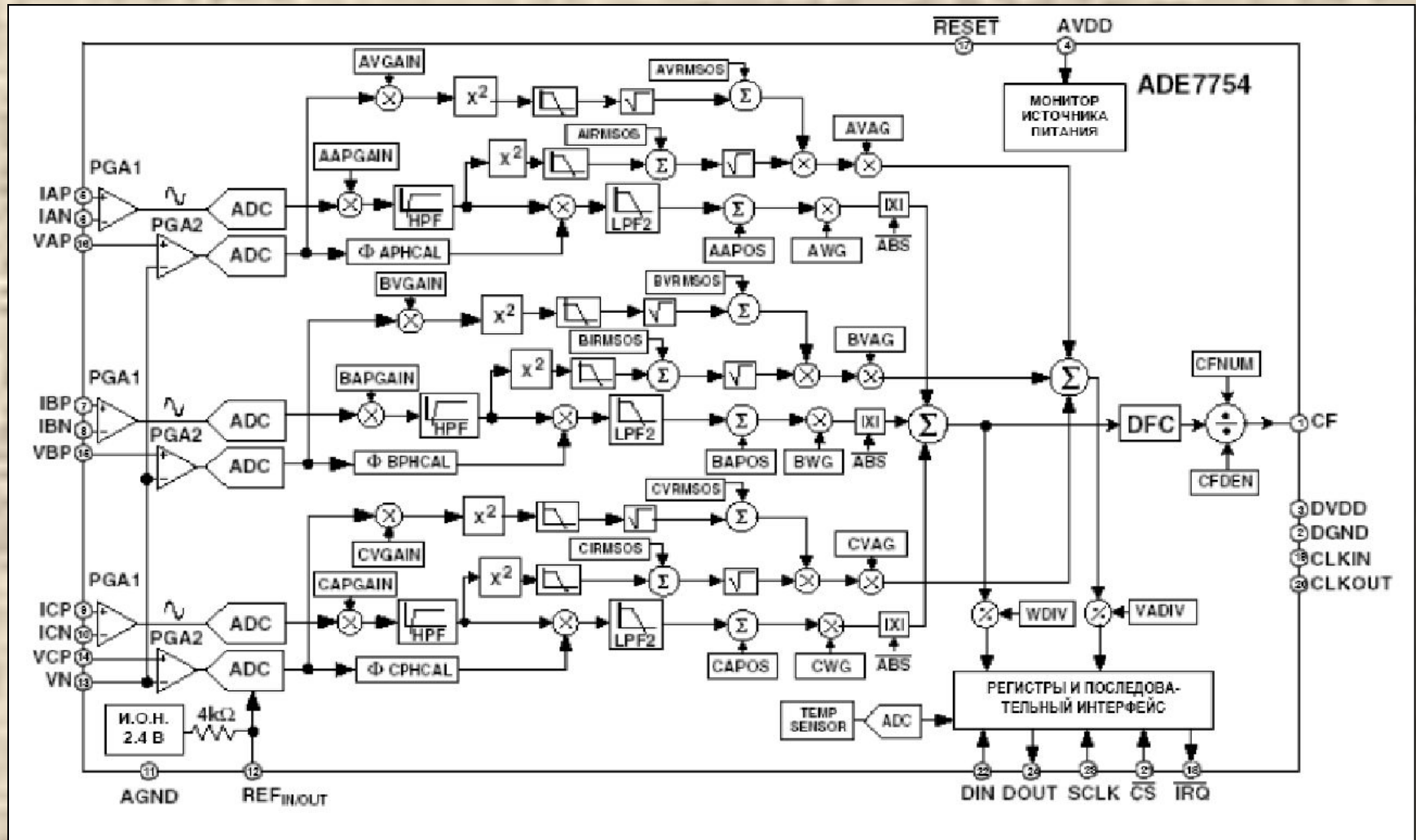
## 7.3.6. Микросхемы для построения счетчиков



Трехфазный счетчик электроэнергии на основе ADE7752



# 7.4.1. Микросхемы для построения счетчиков



Функциональная схема ADE7754

## 7.4.2. Микросхемы для построения счетчиков

### **ОСОБЕННОСТИ** микросхемы ADE7754

1. Высокая точность; соответствует стандарту IEC 687/61036
2. Совместим с трехфазной трехпроводной, трехфазной четырехпроводной сетями с различной конфигурацией
3. Погрешность менее 0,1% при измерении активной энергии в динамическом диапазоне 1000:1
4. ИС обеспечивает измерение: активной энергии, полной (вольтамперной) энергии, среднеквадратичного значения напряжения, среднеквадратичного значения тока и получение дискретных отсчетов входных сигналов
5. Цифровая калибровка мощности, сдвига фазы и постоянного смещения на входе
6. Встроенный датчик температуры (точность тип.  $\pm 4^{\circ}\text{C}$  после калибровки)
7. Программируемые пороги детекции снижения и повышения напряжения сети
8. SPI-совместимый последовательный интерфейс с линией запроса на прерывание (IRQ)
9. Импульсный выход с программируемой частотой
10. Встроенные АЦП и цифровой сигнальный процессор обеспечивают высокую точность в широком диапазоне режимов и долговременную стабильность
11. Один источник питания 5 В



# 7.4.3. Микросхемы для построения счетчиков

## ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7754

Номер вывода	Обозначение	Описание
1	CF	Частотный выход, выдающий сигнал частоты для калибровки. Выдает информацию об активной мощности. Этот выход предназначен для управления и калибровки. Частота, соответствующая максимальной мощности (шкала частоты) может меняться путем записи кода в регистры CFNUM и CFDEN. См. Раздел "Преобразование значения энергии в частоту".
2	DGND	Этот вывод обеспечивает заземление цифровых схем, входящих в ИС ADE7754 (то есть перемножителя, фильтров и преобразователя цифрового сигнала в частоту). Так как ток заземления цифровой части микросхемы ADE7754 достаточно мал, то возможно подключать данный вывод к аналоговой заземляющей поверхности системы. Однако если шина, к которой подключен вывод DOUT, обладает большой емкостью, это может привести к повышению уровня цифрового шума, что может сказаться на работе устройства.
3	DV <sub>DD</sub>	Вывод питания цифровой части ИС. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, на данный вывод необходимо подать напряжение питания $5\text{ В} \pm 5\%$ . Этот вывод должен быть развязан на цифровую заземляющую поверхность DGND с помощью конденсатора емкостью 10 мкФ и параллельно подключенным керамическим конденсатором емкостью 0,1 мкФ.
4	AV <sub>DD</sub>	Вывод питания аналоговой части ИС. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, на этот вывод необходимо подать напряжение питания $5\text{ В} \pm 5\%$ . Должны быть приняты все меры и обеспечена необходимая развязка для минимизации пульсаций и шумов источника питания на этом выводе. На графиках типичных характеристик в техническом описании показано влияние нестабильности напряжения питания на работу устройства. Развязка этого вывода должна быть произведена на аналоговую заземляющую поверхность AGND с помощью конденсатора емкостью 10 мкФ и параллельно подключенного керамического конденсатора емкостью 0,1 мкФ.



# 7.4.4. Микросхемы для построения счетчиков

## ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7754

Номер вывода	Обозначение	Описание
5, 6; 7, 8; 9, 10;	$I_{AP}, I_{AN},$ $I_{BP}, I_{BN},$ ICP, ICN	<p>Аналоговые входы канала измерения тока. Этот канал предназначен для использования с преобразователем тока и в данном техническом описании обозначается как токовый канал. Эти входы – полностью дифференциальные входы напряжения с максимально допустимым уровнем дифференциального сигнала <math>\pm 0,5</math> В, <math>\pm 0,25</math> В или <math>\pm 0,125</math> В в зависимости от выбранного коэффициента усиления внутреннего усилителя с программируемым коэффициентом усиления (PGA) – см. раздел "Аналоговые входы".</p> <p>Все входы имеют внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection). Кроме того, эти входы могут выдержать напряжение <math>\pm 6</math> В без риска необратимого повреждения ИС.</p>
11	AGND	<p>Вывод заземления аналоговых схем (аналого-цифровых преобразователей, датчика температуры и источника опорного напряжения). Этот вывод должен быть связан с аналоговой заземляющей поверхностью или наиболее "тихой" точкой заземления печатной платы. Эта же точка заземления должна быть использована для заземления всех аналоговых схем, таких как антиалайзинговые фильтры, преобразователи тока и напряжения и т.д. Для того, чтобы обеспечить минимальный уровень шума в окружении микросхемы заземляющая поверхность должна быть соединена с цифровой заземляющей поверхностью в единственной точке. Возможно также размещать всё устройство на аналоговой заземляющей поверхности.</p>
12	REF <sub>IN/OUT</sub>	<p>Этот вывод обеспечивает доступ к внутреннему источнику опорного напряжения. Встроенный источник имеет номинальную величину напряжения <math>2,5 \text{ В} \pm 8\%</math> и типичный температурный коэффициент <math>30 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}</math>. К этому выводу может быть подключен внешний источник опорного напряжения. В любом случае необходимо обеспечить развязку этого вывода относительно AGND с помощью керамического конденсатора емкостью 1 мкФ.</p>

# 7.4.5. Микросхемы для построения счетчиков

## ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7754

Номер вывода	Обозначение	Описание
13, 14 15, 16	$V_{N^{\circ}}$ , $V_{CP^{\circ}}$ , VBP, VAP	Аналоговые входы канала напряжения. Этот канал предназначен для использования с преобразователем напряжения и в данном техническом описании обозначается как канал напряжения. Эти входы – однополярные входы напряжения; для обеспечения указанных в техническом описании характеристик максимально допустимый уровень сигнала на входе не должен превышать $\pm 0,5$ В относительно $V_N$ . Максимально допустимое дифференциальное напряжение на входе составляет $\pm 0,5$ В, $\pm 0,25$ В или $\pm 0,125$ В в зависимости от выбранного коэффициента усиления внутреннего усилителя с программируемым коэффициентом усиления (PGA) – см. раздел "Аналоговые входы". Все входы имеют внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection). Кроме того, эти входы могут выдерживать напряжение $\pm 6$ В без риска необратимого повреждения ИС.
17	RESET	Вывод сброса ИС ADE7754. Низкий логический уровень, поданный на этот вход, будет удерживать АЦП и цифровые схемы (включая последовательный интерфейс) в состоянии сброса.
18	IRQ	Выход запроса на прерывание. Данный выход имеет открытый сток и низкий активный уровень. Маскируемые прерывания вызываются, если: значение регистра активной энергии достигло половины от максимального, значение регистра полной энергии достигло половины от максимального, при дискретизации сигнала с частотой до 26 кГц. См. раздел "Прерывания ИС ADE7754".
19	CLKIN	Вход тактовых импульсов для АЦП и процессора цифровой обработки сигналов. К этому логическому входу можно подключить внешний генератор тактовых импульсов. Как альтернативный способ, для получения тактовых импульсов возможно подключение к выводам CLKIN и CLKOUT кварцевого резонатора с параллельным резонансом и со срезом типа АТ. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, частота тактовых импульсов должна быть равна 10 МГц. Вместе с кварцевым резонатором к входу схемы генератора необходимо подключить конденсаторы емкостью от 22 пФ до 33 пФ (керамические). По поводу требований к емкости нагрузки кварцевого резонатора см. техническую документацию производителей кварцевых резонаторов.



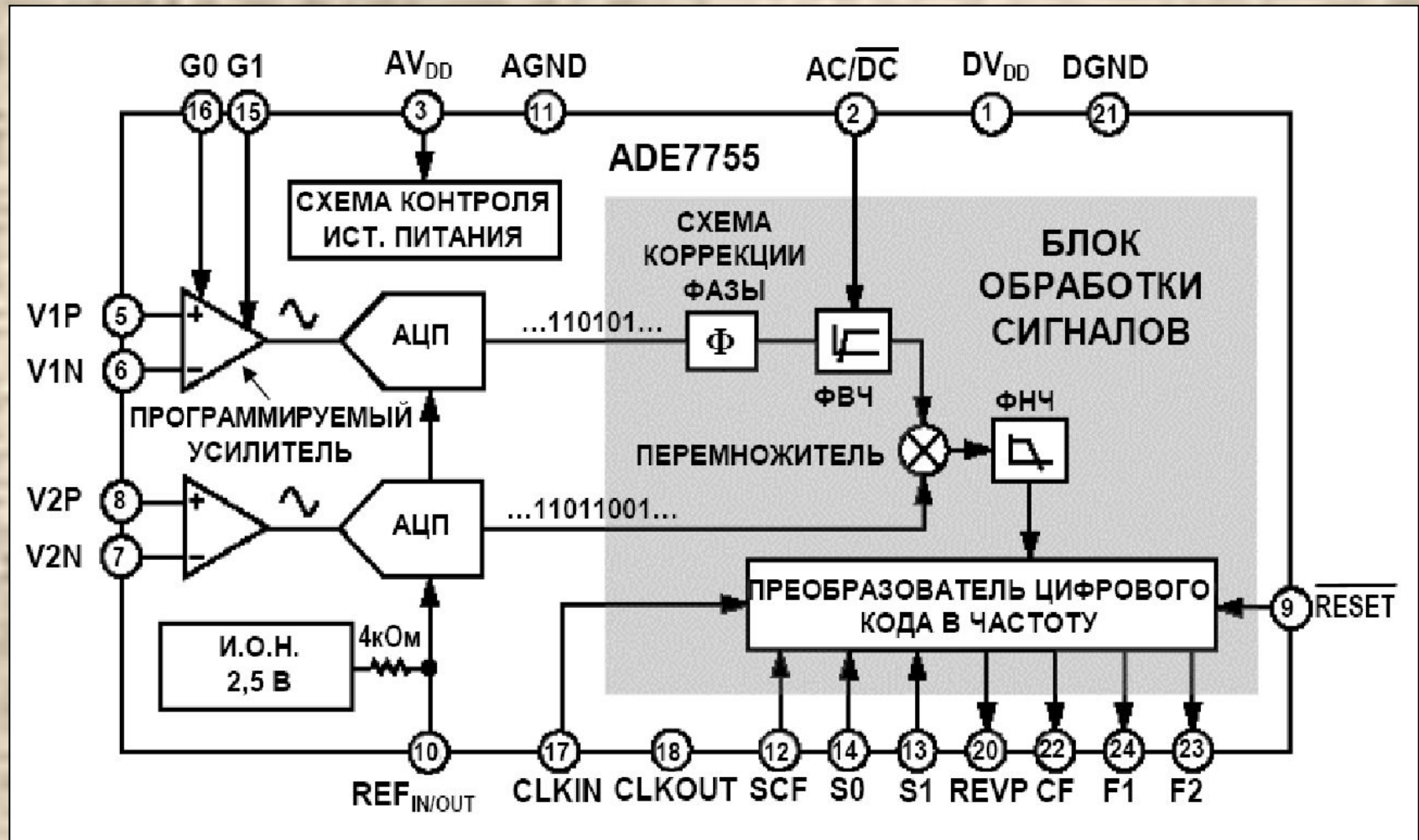
## 7.4.6. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7754

Номер вывода	Обозначение	Описание
20	CLKOUT	Кварцевый резонатор может быть подключен между этим выводом и CLKIN как описано выше, чтобы обеспечить работу генератора тактовых импульсов в ИС ADE7755. Вывод CLKOUT может быть подключен к одному входу КМОП, как при подключении ко входу CLKIN внешнего генератора тактовых импульсов, так и в случае использования кварцевого резонатора.
21	CS	Выбор кристалла. Сигнал относится к четырехпроводному последовательному интерфейсу. Низкий логический уровень является активным. Этот вход позволяет нескольким устройствам использовать общую последовательную шину. См. раздел "Последовательный интерфейс ИС ADE7754".
22	DIN	Вход данных последовательного интерфейса. Данные последовательно подаются на этот вход в момент спадающего фронта импульсов SCLK – см. раздел "Последовательный интерфейс ИС ADE7754".
23	SCLK	Вход импульсов синхронизации для синхронного последовательного интерфейса. Любой последовательный обмен данными синхронизируется посредством этих импульсов – см. раздел "Последовательный интерфейс ИС ADE7754". На входе SCLK имеется триггер Шмидта, что позволяет использовать источник импульсов синхронизации, имеющий медленные фронты и спады импульсов (например, при оптической развязке и т.п.)
24	DOUT	Выход данных последовательного интерфейса. Данные выводятся на этот выход с передним фронтом импульсов SCLK. Данный выход обычно находится в высокоимпедансном состоянии, если не производится считывание данных последовательной шиной см. раздел "Последовательный интерфейс ИС ADE7754".



## 7.5.1. Микросхемы для построения счетчиков



Функциональная схема ADE7755

## 7.5.2. Микросхемы для построения счетчиков

### ОСОБЕННОСТИ микросхемы ADE7755

1. Высокая точность; счетчик поддерживает стандарт 50 Гц/60 Гц IEC 687/1036
2. Ошибка менее 0,1% при динамическом диапазоне 500:1
3. ИС ADE7755 выдает значение средней активной мощности на частотных выходах F1 и F2
4. Высокочастотный выход CF предназначен для калибровки и выдает значение мгновенной активной мощности
5. Совместимость по выводам с микросхемой AD7755 с синхронными выходами CF и F1/F2
6. Логический выход REVP можно использовать для индикации возможного неправильного подключения к сети (отрицательной мощности)
7. Прямое управление электромеханическими счетными механизмами и двухфазными шаговыми двигателями (выходы F1 и F2)
8. Усилитель с программируемым коэффициентом усиления в канале измерения тока позволяет использовать шунт с малой величиной сопротивления
9. Собственные встроенные АЦП и цифровой сигнальный процессор обеспечивают высокую точность в широком диапазоне условий и долговременную стабильность
10. Встроенный контроль напряжения источника питания
11. Встроенная защита от самохода счетчика (имеется порог мощности нагрузки, начиная с которого счетчик работает)
12. Встроенный источник опорного напряжения  $2,5 \text{ В} \pm 8\%$  (типичный дрейф составляет  $30 \cdot 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ) с возможностью подключения внешнего источника опорного напряжения
13. Один источник питания 5 В, низкая потребляемая мощность (типичное значение 15 мВт)
14. Недорогая КМОП технология



## 7.5.3. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7755

Номер вывода	Обозначение	Описание
1	DVDD	Вывод питания цифровой части ИС. Через этот вывод питаются цифровые схемы, входящие в ИС ADE7755. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, на этот вывод необходимо подать напряжение питания $5\text{ В} \pm 5\%$ . Этот вывод должен быть развязан конденсатором емкостью $10\text{ мкФ}$ и параллельно подключенным керамическим конденсатором емкостью $0,1\text{ мкФ}$ .
2	AC/DC	Включение фильтра высокой частоты. Этот логический вход предназначен для включения фильтра высокой частоты в канале V1 (канале измерения тока). Фильтр высокой частоты включается подачей на данный вывод уровня логической единицы. Фазочастотная характеристика фильтра компенсирована в частотном диапазоне от $45\text{ Гц}$ до $1\text{ кГц}$ . В устройствах измерения мощности фильтр высокой частоты должен быть включен.
3	AVDD	Вывод питания аналоговой части ИС. Этот вывод обеспечивает питание аналоговых схем, входящих в ИС ADE7755. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, на этот вывод необходимо подать напряжение питания $5\text{ В} \pm 5\%$ . Должны быть приняты все меры и обеспечена необходимая развязка для минимизации пульсаций и шумов источника питания на этом выводе. Развязка этого вывода должна быть произведена на аналоговую заземляющую поверхность AGND с помощью конденсатора емкостью $10\text{ мкФ}$ и параллельно подключенного керамического конденсатора емкостью $0,1\text{ мкФ}$ .
4, 19	NC	Не подключены



# 7.5.4. Микросхемы для построения счетчиков

## ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7755

Номер вывода	Обозначение	Описание
5, 6	V1P, V1N	Аналоговые входы канала V1 (канала измерения тока). Эти входы – полностью дифференциальные входы напряжения с максимально допустимым уровнем дифференциального сигнала $\pm 470$ мВ, при котором будет обеспечены параметры, соответствующие техническому описанию. Канал измерения тока снабжен программируемым усилителем, коэффициент усиления которого можно выбирать в соответствии с таблицей I. Максимально допустимый уровень сигнала на этих выводах относительно AGND составляет $\pm 1$ В. Оба входа имеют внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection). Эти входы могут выдержать напряжение $\pm 6$ В без риска необратимого повреждения ИС.
7, 8	V2N, V2P	Отрицательный и положительный входы канала V2 (канала измерения напряжения). Эти входы – полностью дифференциальные входы напряжения с максимально допустимым уровнем дифференциального сигнала $\pm 660$ мВ, при котором будет обеспечены параметры, соответствующие техническому описанию. Максимально допустимый уровень сигнала на этих выводах относительно AGND составляет $\pm 1$ В. Оба входа имеют внутреннюю схему защиты от электростатического разряда (ESD protection). Эти входы могут выдержать напряжение $\pm 6$ В без риска необратимого повреждения ИС.
9	RESET	Вывод сброса ИС ADE7755. Низкий логический уровень, поданный на этот вход, будет удерживать АЦП и цифровые схемы в состоянии сброса. Подача низкого уровня на этот вход приведет к сбросу внутренних регистров ИС ADE7755.
10	REFIN/OUT	Вход/выход источника опорного напряжения. Этот вывод обеспечивает доступ к внутреннему источнику опорного напряжения. Источник имеет номинальную величину напряжения $2,5 \text{ В} \pm 8\%$ и типичный температурный коэффициент $30 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ . К этому выводу может быть подключен внешний источник опорного напряжения. В любом случае необходимо обеспечить развязку этого вывода относительно AGND с помощью керамического конденсатора емкостью 1 мкФ и керамического конденсатора емкостью 0,1 мкФ.

# 7.5.5. Микросхемы для построения счетчиков

## ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7755

Номер вывода	Обозначение	Описание
11	AGND	Этот вывод обеспечивает заземление аналоговых схем, входящих в ИС ADE7755, то есть АЦП и источника опорного напряжения. Этот вывод должен быть связан с аналоговой заземляющей поверхностью печатной платы. Аналоговая заземляющая поверхность является заземлением для всех аналоговых схем, таких как антиалайзинговые фильтры и преобразователи тока и напряжения. Для хорошего подавления шума аналоговая заземляющая поверхность должна быть соединена с цифровой заземляющей поверхностью в единственной точке. Конфигурация заземления в виде звезды обеспечивает изоляцию шумных цифровых токов от аналоговых схем.
12	SCF	Выбор частоты калибровки. Этот логический вход используется для выбора частоты на выходе калибровки CF. В таблице IV показано, каким образом выбирается частота калибровки.
13, 14	S1, S0	Эти логические входы используются для выбора одной из четырех возможных частот для преобразователя цифрового сигнала в частоту. Возможность выбора обеспечивает конструктору большую гибкость при проектировании счетчика электроэнергии. См. раздел "Выбор частоты для счетчика электроэнергии".
15, 16	G1, G0	Эти логические входы используются для выбора одного из четырех возможных коэффициентов усиления для канала V1 (канала измерения тока). Возможные значения коэффициента усиления 1, 2, 8 и 16. См. раздел "Аналоговый вход".
17	CLKIN	К этому логическому входу можно подключить внешний генератор тактовых импульсов. Как альтернативный способ, для получения тактовых импульсов возможно подключение к выводам CLKIN и CLKOUT кварцевого резонатора с параллельным резонансом и со срезом типа AT. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, частота тактовых импульсов должна быть равна 3,579545 МГц. Вместе с кварцевым резонатором к входу схемы генератора необходимо подключить конденсаторы емкостью от 22 пФ до 33 пФ (керамические).



# 7.5.6. Микросхемы для построения счетчиков

## ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7755

Номер вывода	Обозначение	Описание
18	CLKOUT	Кварцевый резонатор может быть подключен между этим выводом и CLKIN как описано выше, чтобы обеспечить работу генератора тактовых импульсов в ИС ADE7755. Вывод CLKOUT может быть подключен к одному входу КМОП, когда ко входу CLKIN подключен внешний генератор тактовых импульсов или если используется кварцевый резонатор.
20	REVP	На этом логическом выходе появляется напряжение логической единицы, когда ИС обнаруживает, что мощность отрицательна, т.е. когда фазовый угол между напряжением и током превышает $90^\circ$ . Этот выход не фиксируется и сбрасывается, как только мощность снова становится положительной. Этот выход меняет свое состояние в момент, когда импульс появляется на выходе CF.
21	DGND	Этот вывод обеспечивает заземление цифровых схем, входящих в ИС ADE7755, то есть перемножителя, фильтров, и преобразователя цифрового сигнала в частоту. Этот вывод должен быть связан с цифровой заземляющей поверхностью печатной платы. Цифровая заземляющая поверхность является заземлением для всех цифровых схем, таких как счетчики (механические и цифровые), микроконтроллеры и светодиодные индикаторы. Для хорошего подавления шума аналоговая заземляющая поверхность должна быть соединена с цифровой заземляющей поверхностью в единственной точке, то есть должна быть обеспечена конфигурация заземления в виде звезды.
22	CF	Частотный выход, выдающий сигнал частоты для калибровки. Выдает информацию о мгновенном значении активной мощности. Этот выход предназначен для целей калибровки. Также см. описание вывода SCF.
23, 24	F2, F1	Низкочастотные импульсные выходы. F1 и F2 выдают информацию о средней активной мощности. Эти импульсные выходы могут быть использованы для прямого управления электромеханическими счетными механизмами.



# 7.5.7. Микросхемы для построения счетчиков

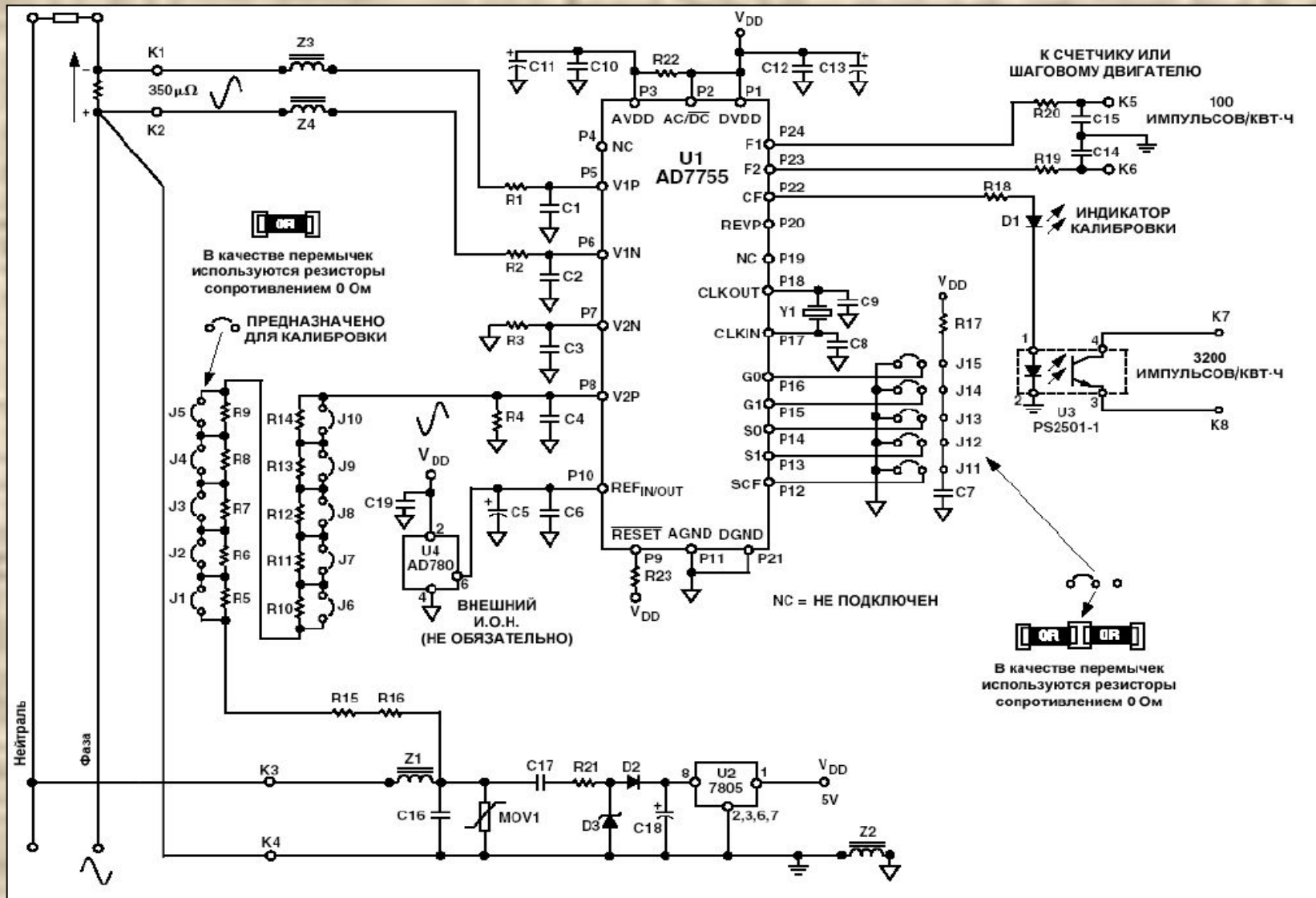
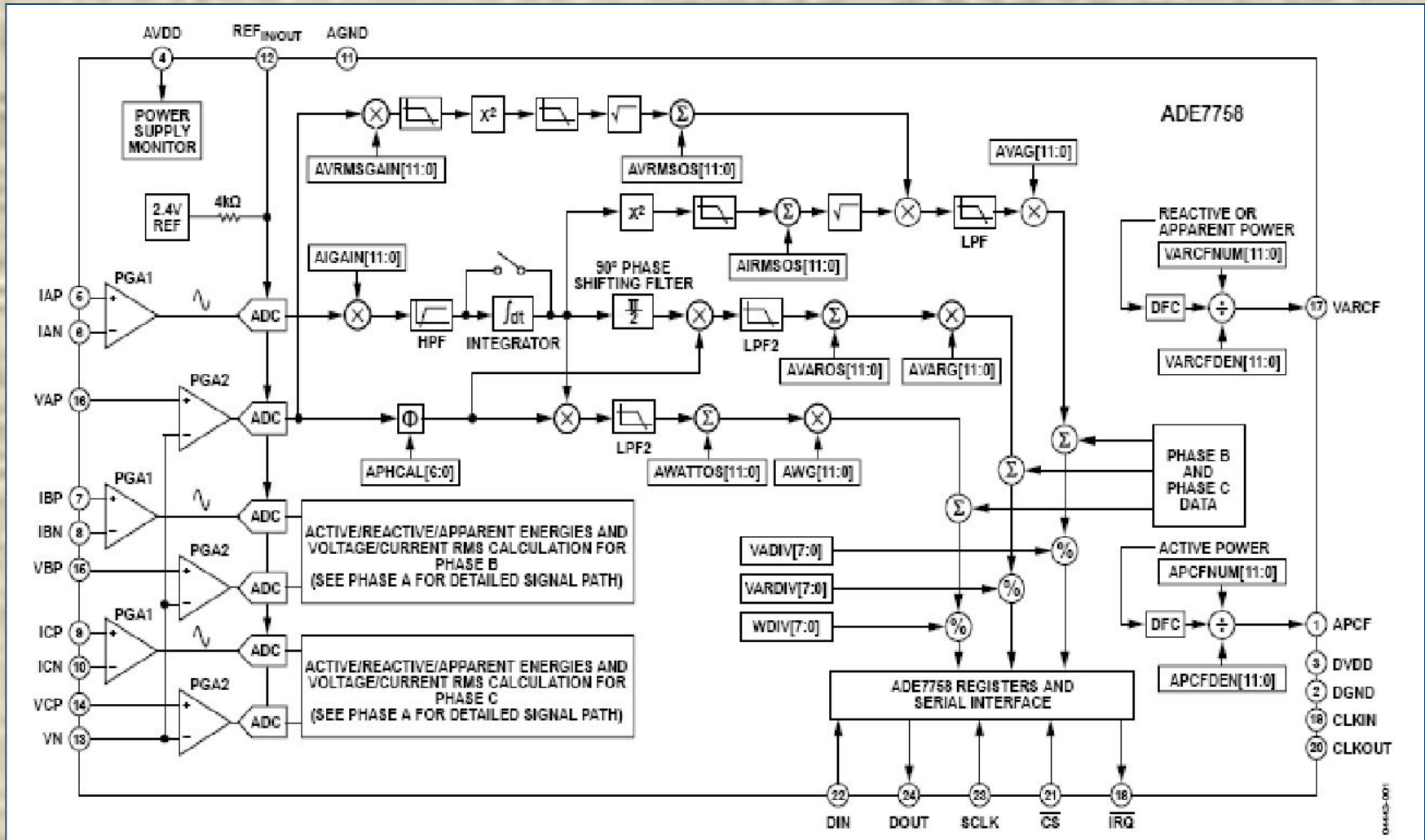


Схема простого однофазного счетчика электроэнергии на основе AD7755

# 7.6.1. Микросхемы для построения счетчиков



Функциональная схема ADE7758

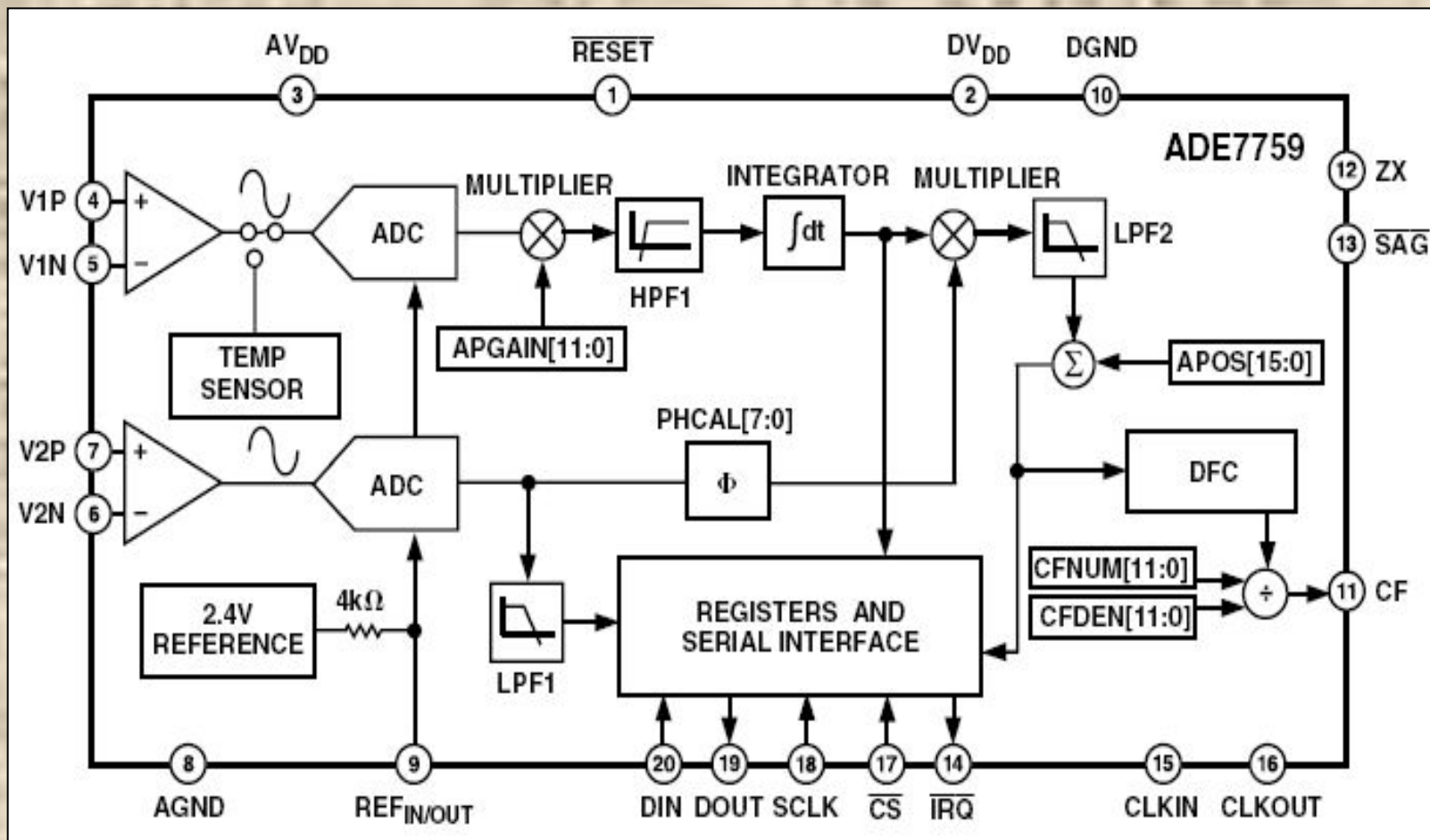
## 7.6.2. Микросхемы для построения счетчиков

### ОСОБЕННОСТИ микросхемы ADE7758

- Высокая точность; счетчик поддерживает стандарты IEC 60687, IEC 61036, IEC 61268, IEC 62053-21, IEC 62053-22, and IEC 62053-23
- Возможно использовать в 3 фазных/3 проводных, 3 фазных/4 проводных и других 3 фазных сетях.
- Ошибка менее 0,1% при динамическом диапазоне 1000:1 при 25°C
- Позволяет учитывать активную/реактивную/кажущуюся мощность, среднеквадратичное значение напряжения, среднеквадратичное значение тока, и выбирать данные о форме волны.
- Два импульсных выхода, один для активной мощности и другой выбираемый между реактивной и кажущейся мощностью с программируемой частотой
- Цифровая мощность, фаза, и среднеквадратические смещения калибровка (Digital power, phase, and rms offset calibration)
- На чипе, программируемые пользователем пороги для линейного напряжения SAR и обнаружения броска напряжения
- На чипе, цифровой интегратор позволяет подключать токовые сенсоры с di/dt выходами
- PGA в канале тока позволяет подключать шунты и трансформаторы тока
- SPI<sup>®</sup> - совместимый последовательный интерфейс с запросом на прерывание
- Собственные встроенные АЦП и цифровой сигнальный процессор обеспечивают высокую точность в широком диапазоне условий и долговременную стабильность
- Встроенный источник опорного напряжения 2,5 В±8% (типичный дрейф составляет 30·10<sup>-6</sup>/°C) с возможностью подключения внешнего источника опорного напряжения
- Один источник питания 5 В, низкая потребляемая мощность (типичное значение 70 мВт)



## 7.7.1. Микросхемы для построения счетчиков



Функциональная схема ADE7759

## 7.7.2. Микросхемы для построения счетчиков

### ОСОБЕННОСТИ микросхемы ADE7759

1. Высокая точность, поддержка IEC 687/1036
2. Встроенный цифровой интегратор, позволяющий напрямую подключить токовый сенсор типа катушки Роговского с  $di/dt$  выходом
3. Ошибка измерения менее 0,1 % в динамическом диапазоне от 1000 до 1
4. Встроенный программируемый пользователем порог детектирования снижения напряжения и контроля напряжения питания
5. ADE7759 позволяет измерять волновые характеристики и активную составляющую потребляемой мощности с разрешением 40 бит
6. Расчет энергии, фазы и DC вход смещающей калибровки
7. Встроенный температурный датчик
8. SPI – совместимый последовательный интерфейс
9. Импульсный выход с программируемой частотой прерывания
10. Вывод запроса прерывания и регистр статуса запросов прерывания
11. Собственные АЦП и цифровой сигнальный процессор обеспечивают высокую точность в широком диапазоне климатических условий и долговременную стабильность
12. Встроенный источник опорного напряжения 2,4 В,  $\pm 8\%$  (типичный дрейф составляет  $20 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ) с возможностью подключения внешнего источника опорного напряжения
13. Однополярное питание 5 В, низкое энергопотребление (типовое значение 25 мВт)



## 7.7.3. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7759

Номер вывода	Обозначение	Описание
1	RESET	Вывод сброса для ADE7759. При низком уровне сигнала на этом выводе происходит сброс АЦП и цифровых схем, включая последовательный интерфейс
2	DVDD	Вывод питания цифровой части ADE7759 ( $5\text{ В} \pm 5\%$ ). Этот вывод должен быть соединен с DGND конденсатором емкостью 10 мкФ и параллельно подключенным керамическим конденсатором емкостью 100 нФ.
3	AVDD	Вывод питания аналоговой части ADE7759 ( $5\text{ В} \pm 5\%$ ). Этот вывод должен быть соединен с DGND конденсатором емкостью 10 мкФ и параллельно подключенным керамическим конденсатором емкостью 100 нФ.
4, 5	V1P, V1N	Аналоговые входы канала V1 (канал тока). Этот канал предназначен для использования с токовыми преобразователями, такими как катушка Роговского, или другими токовыми датчиками такими как шунт или трансформатор тока
6, 7	V2P, V2N	Аналоговые входы канала V2 (канал напряжения). Этот канал предназначен для использования с преобразователями напряжения.
8	AGND	Этот вывод обеспечивает заземление аналоговых схем, входящих в ИС ADE7759
9	REF <sub>IN/OUT</sub>	Вход/выход источника опорного напряжения. Этот вывод обеспечивает доступ к внутреннему источнику опорного напряжения. К этому выводу может быть подключен внешний источник опорного напряжения. В любом случае необходимо обеспечить развязку этого вывода относительно AGND с помощью конденсатора емкостью 1 мкФ и параллельного конденсатора емкостью 100 нФ.

## 7.7.4. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7759

Номер вывода	Обозначение	Описание
10	DGND	Этот вывод обеспечивает заземление цифровых схем, входящих в ИС ADE7759
11	CF	Частотный выход, выдающий сигнал частоты для калибровки. Выдает информацию о мгновенном значении активной мощности. Этот выход предназначен для целей калибровки.
12	ZX	Этот выход переключает логику (низкий или высокий уровень) когда дифференциальный сигнал на канале 2 пересекает ноль.
13	SAG	Этот логический вывод с открытым коллектором (open drain) активен при низком уровне сигнала, когда напряжение не пересекает ноль или напряжение канала 2 ниже порогового определенное время.
14	IRQ	Выход запроса на прерывание.
15	CLKIN	Вход тактовых импульсов для АЦП и процессора цифровой обработки сигналов. К этому логическому входу можно подключить внешний генератор тактовых импульсов. Как альтернативный способ, для получения тактовых импульсов возможно подключение к выводам CLKIN и CLKOUT кварцевого резонатора с параллельным резонансом и со срезом типа АТ. Чтобы ИС обеспечивала параметры, соответствующие техническому описанию, частота тактовых импульсов должна быть равна 3,579545 МГц. Вместе с кварцевым резонатором к входу схемы генератора необходимо подключить конденсаторы емкостью от 10 пФ до 30пФ (керамические).

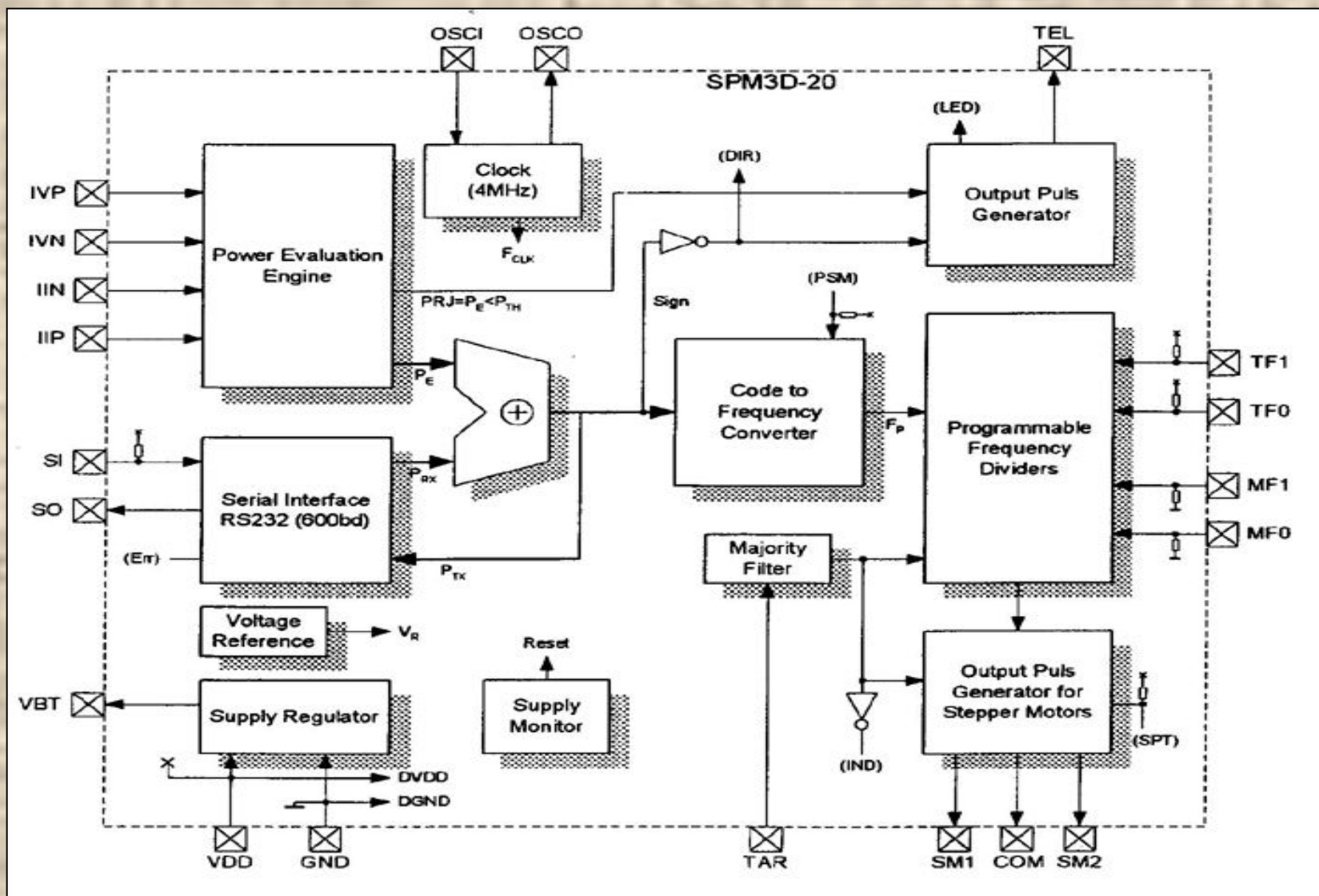


## 7.7.5. Микросхемы для построения счетчиков

### ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ микросхемы ADE7759

Номер вывода	Обозначение	Описание
16	CLKOUT	Кварцевый резонатор может быть подключен между этим выводом и CLKIN как описано выше, чтобы обеспечить работу генератора тактовых импульсов в ИС ADE7759. Вывод CLKOUT может быть подключен к одному входу КМОП, как при подключении ко входу CLKIN внешнего генератора тактовых импульсов, так и в случае использования кварцевого резонатора.
17	CS	Выбор кристалла. Вывод относится к четырехпроводному последовательному интерфейсу. Низкий логический уровень является активным. Этот вход позволяет нескольким устройствам использовать общую последовательную шину.
18	SCLK	Вход импульсов синхронизации для синхронного последовательного интерфейса. Любой последовательный обмен данными синхронизируется посредством этих импульсов. На входе SCLK имеется триггер Шмидта, что позволяет использовать источник импульсов синхронизации, имеющий медленные фронты и спады импульсов (например, при оптической развязке и т.п.)
19	DOUT	Выход данных последовательного интерфейса. Данные выводятся на этот выход с передним фронтом импульсов SCLK. Данный выход обычно находится в высокоимпедансном состоянии, если не производится считывание данных последовательной шиной.
20	DIN	Вход данных последовательного интерфейса. Данные последовательно подаются на этот вход в момент спадающего фронта импульсов SCLK.

## 7.8.1. Микросхемы для построения счетчиков



Функциональная схема SPM3D фирмы EasyMeter



## 7.8.2. Микросхемы для построения счетчиков

### **ОСОБЕННОСТИ** микросхемы SMP3D

1. обеспечивает точность класса 0.5 согласно IEC 61036 в динамической области 500:1
2. работает с шунтовыми и трансформаторными датчиками входного тока
3. потребляемая мощность - менее 10 мВт
4. напряжение питания - 5В
5. диапазон рабочих температур - от -45°C до + 85°C
6. имеет двухтарифную логику, управляет двумя шаговыми двигателями
7. детектор нулевой мощности
8. индикатор направления движения энергии
9. диапазон рабочих частот –DC от 0 до 5КГц
10. наличие внутреннего опорного напряжения и регулятора питания
11. требует небольшого числа внешних элементов
12. может применяться в 3-х фазных электросчетчиках

## 7.8.3. Микросхемы для построения счетчиков

Номер	Название	Описание	Примечание
1	IN	Инвертирующий вход от датчика тока	Аналог.вход
2	IP	Неинвертирующий вход от датчика тока	Аналог.вход
3	VBT	Выход регулятора напряжения	Выход
4	VDD	положительное питание ( 5В )	Питание
5	MF1	Установка области изменения частоты мотора (Бит1)	Привязка к "0"
6	MF0	Установка области изменения частоты мотора (Бит0)	Привязка к "0"
7	SI	Вход данных последовательного интерфейса/ только для теста	Привязка к "1"
8	SO	Выход последов. данных ( 4байт@600 бод каждые 524мс )	Маломощн.вых.
9	COM	Общий выход для шаговых двигателей	Мощн.вых.
10	SM2	Выход для 2-го шагового двигателя	Мощн.вых.
11	SMI	Выход для 1-го шагового двигателя	Мощн.вых.
12	TEL	Выход для подключения поверочных устройств	PMOS выход
13	OSCI	Вход тактовой частоты от 4МГц кварца	Аналог.вход
14	OSCO	Выход тактовой частоты от кварца	Аналог. выход
15	TF0	Установка передаточного числа для телеметрии (Бит0)	Привязка к "1"
16	TF1	Установка передаточного числа для телеметрии (Бит1)	Привязка к "1"
17	GND	отрицательное питание	Питание
18	TAR	Устан. тарифа (цифров. мажоритарн. фильтр для АС сигналов)	Привязка к "0"
19	IVP	Неинвертирующий вход от датчика напряжения	Аналог.вход
20	IVN	Инвертирующий вход от датчика напряжения	Аналог.вход



## 7.8.4. Микросхемы для построения счетчиков

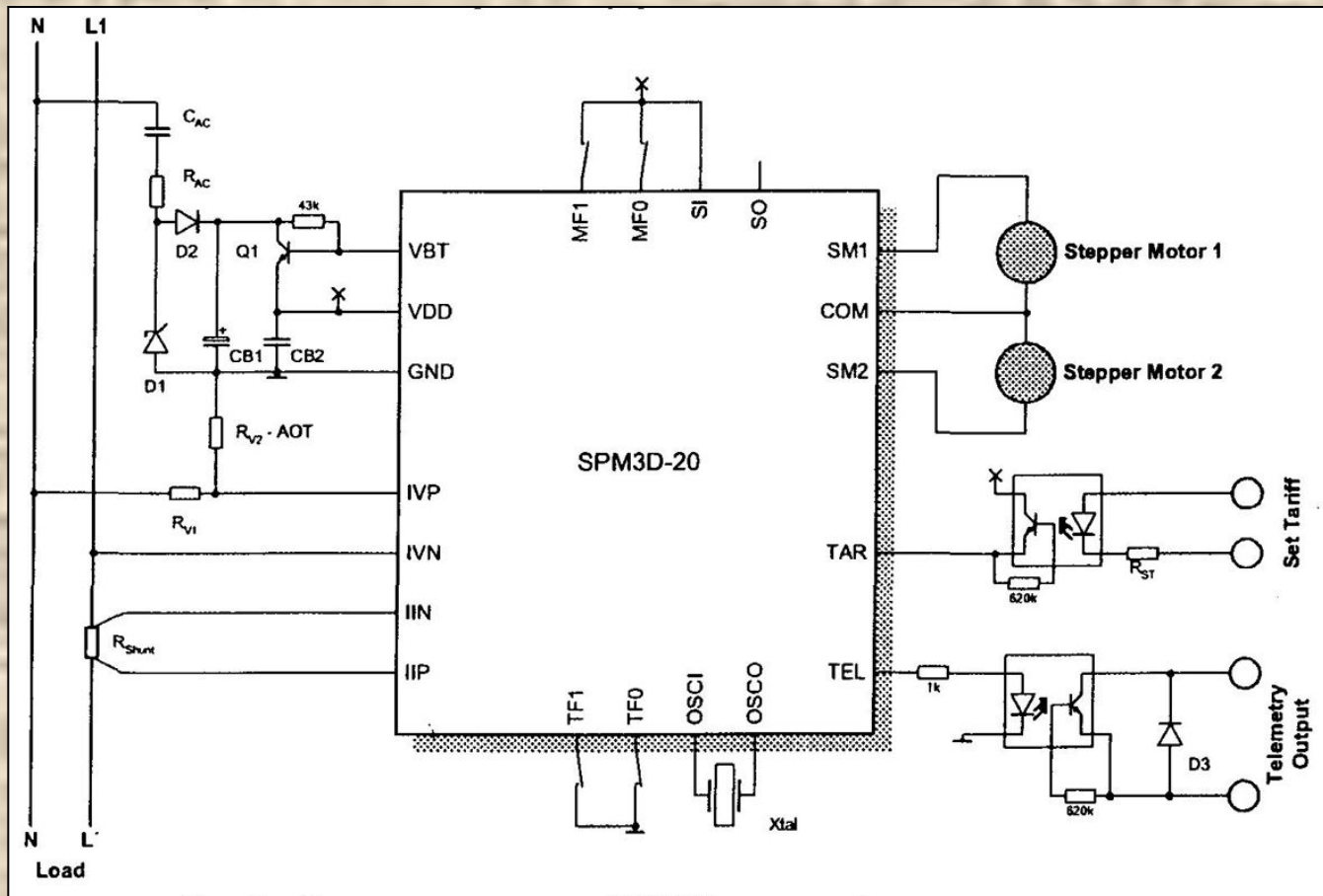


Схема подключения SPM3D для однофазного счетчика электроэнергии

# 7.9.1. Микросхемы для построения счетчиков

Наименование	Фирма-производитель	Наличие цифровой калибровки	Наличие внешнего интерфейса	Наличие выхода для управления электромеханическим отсчетным устройством	Тип датчика		Возможность работы с катушкой Роговского	Класс точности / относительная погрешность линейности	Напряжение питания, В
					шунт	трансформатор			
Однофазные									
К1446 ПМ1	Ангстрем, ОАО (Россия, г. Зеленоград) <a href="http://www.angstrom.ru">www.angstrom.ru</a>	Нет		Нет	-	×	Нет	Класс 2	+5
КР 1095 АП1	«Восход»-КРЛЗ, ОАО (Россия, г. Калуга) <a href="http://users.kaluga.ru">http://users.kaluga.ru</a>	Нет		Есть	-	-	Нет	0,1%	+12 (±6)
КР 1095 ПП1	<a href="http://users.kaluga.ru">http://users.kaluga.ru</a>	Нет		Нет	-	×	Нет	0,1%	±6
УР1101ПС01	НПО«Кристалл», ООО (Украина, Киев) <a href="http://www.krystall.net">www.krystall.net</a>	Нет		Нет	-	×	Нет	Класс 1	±15
УР1101ПС02		Нет		Есть	-	×	Нет	Класс 1	±15
УР1101ПС04		Нет		Есть	-	×	Нет	Класс 1	±5
ADE7751		Нет		Есть	×	×	Нет	Класс 1-2 / 0,1%	±5
ADE7753		Есть	SPI	Нет	×	×	Есть	Класс 0,5-1-2 / 0,1%	±5
ADE7755		Нет		Есть	×	×	Нет	Класс 1-2 / 0,1%	±5
ADE7756		Есть	SPI	Нет	×	×	Нет	0,1%	±5



## 7.9.2. Микросхемы для построения счетчиков

Наименование	Фирма-производитель	Наличие цифровой калибровки	Наличие внешнего интерфейса	Наличие выхода для управления электромеханическим отсчетным устройством	Тип датчика		Возможность работы с катушкой Роговского	Класс точности / относительная погрешность линейности	Напряжение питания, В
					шунт	трансформатор			
Однофазные									
AS 8118	Austria Microsystems <a href="http://www.austriamicrosystems.com">www.austriamicrosystems.com</a>	Есть		Есть	×	×	Нет	0,1%	±5
CS5460A	Cirrus Logic <a href="http://www.cirrus.com">www.cirrus.com</a>	Есть	Есть	Есть	×	×	Нет	0,1%	±5
CY8C27443	Cypress Semiconductor <a href="http://www.cypress.com">www.cypress.com</a>	Есть	Есть	Есть	×	×	Есть	0,2%	3...5
HD64(тип ПЗУ)38076	Renesas <a href="http://www.renesas.com">www.renesas.com</a>	Есть	SCI × 2, I <sup>2</sup> C	Нет	×	×	Нет		+1,8...+3,6
HD64(тип ПЗУ)38086		Есть	SCI × 2, I <sup>2</sup> C	Нет	×	×	Нет		+1,8...+3,6
ILA19002	УП «Белмикросистемы» НПО «Интеграл» <a href="http://www.integral.by/index.phtml?factory1">www.integral.by/index.phtml?factory1</a>	Нет		Нет	×	×	Нет	Класс 1	±2,5
MC68HC908LJ12	Freescale Semiconductor (Motorola SPS) <a href="http://e-www.motorola.com">http://e-www.motorola.com</a>	Есть	SCI, SPI	Нет	×	×	Нет	Класс 1	±3,3; +5
MSP430 FE 423	Texas Instruments <a href="http://www.ti.com">www.ti.com</a>	Есть		Нет	×	×	Нет	Класс 0,5	+3,3

## 7.9.3. Микросхемы для построения счетчиков

Наименование	Фирма-производитель	Наличие цифровой калибровки	Наличие внешнего интерфейса	Наличие выхода для управления электромеханическим отсчетным устройством	Тип датчика		Возможность работы с катушкой Роговского	Класс точности / относительная погрешность линейности	Напряжение питания, В
					шунт	трансформатор			
Однофазные									
PMoC	Cypress Semiconductor <a href="http://www.cypress.com">www.cypress.com</a>	Есть	RS-232, IR	Есть	×	×	Нет	0,2%	+5
SA2002 H	Sames <a href="http://www.sames.co.za">www.sames.co.za</a>	Нет		Нет	×	×	Нет	Класс 1	±2,5
SA2102 D		Нет		Есть	×	×	Нет	Класс 0,5	±2,5
SA410x		Есть		Есть	×	×	Нет	Класс 1	±2,5
SC7751	Silan Semiconductors <a href="http://www.silan.com.cn">www.silan.com.cn</a>	Нет		Есть	×	×	Нет	0,1%	+5
SC7755		Нет		Есть	×	×	Нет	0,1%	+5
SPM3D11-20	EasyMeter <a href="http://www.easymeter.de">www.easymeter.de</a>	Нет	UART (RS-232)	Есть (2У)	×	×	Нет	Класс 0,5-1-2	+5
SPM4		Есть	SPI	Есть (2У)	×	×	Нет	Класс 0,5-1-2	+5
STPM 01	STMicroelectronics <a href="http://www.st.com">www.st.com</a>	Есть		Нет	×	×	Есть	Класс 1	+5
Трёхфазные									
МС ПП1	«Восход»-КРЛЗ, ОАО (Россия, г. Калуга) <a href="http://users.http://users.kaluga.s.kaluga.http://users">http://users.kaluga.s.kaluga.http://users</a>	Нет		Нет	-	×	Нет	0,1%	±6

## 7.9.4. Микросхемы для построения счетчиков

Наименование	Фирма-производитель	Наличие цифровой калибровки	Наличие внешнего интерфейса	Наличие выхода для управления электромеханическим отсчетным устройством	Тип датчика		Возможность работы с катушкой Роговского	Класс точности / относительная погрешность линейности	Напряжение питания, В
					шунт	трансформатор			
Трехфазные									
ADE7752	Analog Devices <a href="http://www.analog.com">www.analog.com</a>	Нет		Есть	-	×	Нет	Класс 1-2 / 0,1%	+5
ADE7754		Есть	SPI	Нет	-	×	Нет	Класс 1-2 / 0,1%	+5
ADE7758		Есть	SPI	Нет	Нет	-	×	Есть	Класс 1-2-3 / 0,1%
CS5451	Cirrus Logic <a href="http://www.cirrus.com">www.cirrus.com</a>	Нет	Есть	Нет	×	×	Нет	0,1%	+3
DSP56F80x	Freescale Semiconductor (Motorola SPS) <a href="http://e-www.motorola.com">http://e-www.motorola.com</a>	Есть	SCI, SPI, CAN	Нет	×	×	Нет	Класс 1	+3,3
ILA19006	УП «Белмикросистемы» НПО «Интеграл» <a href="http://www.integral.by/index.phtml?factory1">www.integral.by/index.phtml?factory1</a>	Нет		Нет	×	×	Нет	Класс 1	±2,5
MSP 430F449	Texas Instruments <a href="http://www.ti.com">www.ti.com</a>	Есть		Нет	×	×	Нет	Класс 1	±3,3
PM 2005 M	Sames <a href="http://www.sames.co.za">www.sames.co.za</a>	Нет		Есть	×	×	Нет	Класс 1	±2,5
PM 2005 P		Есть		Есть	×	×	Нет	Класс 1	±2,5
SPM3D11-20	EasyMeter <a href="http://www.easymeter.de">www.easymeter.de</a>	Нет	UART (RS-23)	Есть (2У)	×	×	Нет	Класс 0,5-1-2	+5



## 7.9.5. Микросхемы для построения счетчиков

**К1986ВЕ21, К1986ВЕ23**

**Производитель - ЗАО ПКК «Миландр», Россия**

**Используются в счетчиках «Милур» 104, 105, 304, 305, 306  
(класс точности 1, 0.5S, 0.2S)**

Основные характеристики микроконтроллера К1986ВЕ21У и микросхем конкурентов

Параметр	К1986ВЕ21У	71М6533	MSP430F471X
Напряжение питания, В	2,2–3,6	3–3,6	1,8–3,6
Разрядность микроконтроллера, бит	32	8	16
Тип ядра	ARM Cortex-M0	8051	RISC
Максимальная частота, МГц	36	10	16
Размер флеш-памяти, Кбайт	128	128	116
Размер ОЗУ, Кбайт	16	4	8
DMA	+	–	+
Разрядность АЦП	24	24	16
Регистры аварийного сохранения, бит	14×32	8×8	–
Корпус	LQFP64	LQFP100	QFP100

# 8. Измерительные трансформаторы тока и напряжения

**8.1** Характеристики измерительных трансформаторов.

**8.2** Трансформаторы тока.

**8.3** Трансформаторы напряжения.



# 8.1 Характеристики измерительных трансформаторов тока и напряжения

- Погрешности электромагнитных измерительных трансформаторов возникают вследствие:
  - неполной электромагнитной связи между первичной и вторичной обмотками из-за рассеяния магнитного потока, и потерь энергии в проводниках и магнитной системе.
- Падения напряжения (или потери тока) зависят от нагрузки трансформатора:
  - мощности и коэффициента мощности, а также от параметров трансформатора – активных и реактивных сопротивлений, которые зависят от температуры, частоты и первичного напряжения (или тока). Зависимость от напряжения (или тока) определяется нелинейностью характеристики намагничивания.
- Улучшение метрологических характеристик измерительных трансформаторов:
  - улучшение электрические параметры трансформаторов – снижение активные потерь, уменьшение рассеяния магнитного поля, уменьшение нелинейности кривой намагничивания технологическими путями (это требует увеличения массы активных материалов и улучшения их качества т.е. удорожания трансформаторов).
  - ограничение рабочей области и таким образом уменьшить дополнительные погрешности. (В частности, наибольшие дополнительные погрешности вносит изменение мощности нагрузки).
  - применение структурных методов повышения точности: реализация новых принципов преобразования напряжений и токов, использование электроники, волоконной оптики и т.п.
- Большинство трансформаторов, выпускаемых зарубежными фирмами, рассчитаны на значительно меньшие мощности нагрузки, что позволяет обеспечить более высокий класс точности



## 8.2.1 Трансформаторы тока.

Применяются в качестве датчиков переменного тока для измерительных приборов и систем, счетчиков, анализаторов количества и качества энергии, АСКУЭ и т.п. Трансформаторы тока имеют замкнутый магнитопровод, на который намотана вторичная обмотка. Первичной обмоткой трансформатора тока служит проводник с измеряемым током, пропущенный в центральное отверстие (окно) магнитопровода.

## 8.2.2 Трансформаторы тока.

**По способу подключения трансформаторы тока бывают следующих типов:**

- **С первичной обмоткой** - трансформатор тока включается в разрыв измеряемой цепи с помощью клемм.
- **С проходной шиной** - разновидность первого типа, где первичная обмотка представляет собой короткую шину, проходящую насквозь через корпус трансформатора тока.
- **С окном** - первичная обмотка отсутствует. Ее образует кабель или шина, пропускаемая в окно при монтаже. Окно бывает круглое (под провод или кабель), прямоугольное (под шину) или фигурное (под кабель или шину).

При монтаже трансформаторы тока закрепляются на шине или на любой несущей поверхности.

# 8.2.3 Трансформаторы тока.

## Токовая и угловая погрешности

- Токовой погрешностью трансформатора тока называется погрешность, которую вносит трансформатор при измерении тока, возникающая вследствие того, что действительный коэффициент трансформации не равен номинальному.

$$f_{iH} = \frac{I_2 n_H - I_{1H}}{I_{1H}} 100$$

- При известных основных параметрах и конструктивных данных ТТ:

$$f_{iH} = \frac{33,8 \cdot l_M z_2^{0,6} I_{2H}^{1,2}}{(I_1 / I_{1H})^{0,4} f^{0,6} F_{1H}^{1,6} S_M^{0,6}} \sin(\psi + \alpha) \cdot 100$$

- Угловой погрешностью  $\delta$  трансформатора тока называется угол между векторами первичного и вторичного токов при таком выборе их направлений, чтобы для идеального трансформатора тока этот угол равнялся нулю, т. е. это угол между векторами первичного тока и повернутого на  $180^\circ$  вторичного тока. Угловая погрешность выражается в минутах или сантирадианах (срад) и считается положительной, когда вектор вторичного тока, повернутый на  $180^\circ$ , опережает вектор первичного тока.

$$\delta = 3440 \frac{F_0}{F_1} \cos(\psi + \alpha).$$

- При известных основных параметрах и конструктивных данных:

$$\delta = \frac{119332 \cdot l_M z_2^{0,6} I_{2H}^{1,2}}{(I_1 / I_{1H})^{0,4} f^{0,6} F_{1H}^{1,6} S_M^{0,6}} \cos(\psi + \alpha)$$

где  $l_M$  – средняя длина магнитного потока в магнитопроводе, м;  $z_2$  – сопротивление ветви вторичного тока (полное сопротивление вторичной цепи и вторичной обмотки), Ом;  $f$  – частота переменного тока, Гц;  $S_M$  – действительное сечение магнитопровода, м<sup>2</sup>;  $\psi$  – угол потерь, а  $\alpha$  – угол сдвига фаз между вторичной э.д.с.  $E_2$  и вторичным током  $I_2$ , град.



## 8.2.4 Трансформаторы тока.

### Влияние технических и конструктивных параметров трансформаторов тока на токовую и угловую погрешности (начало)

- Влияние первичного тока  $I_1$ .
  - увеличение первичной м.д.с.  $\Rightarrow$  уменьшение токовой и угловой погрешностей ТТ (т.е. увеличением числа витков первичной обмотки)  $\Rightarrow$  дополнительный расход меди.
- Влияние вторичного тока  $I_2$ .
  - Уменьшение вторичного тока  $I_2$  при одних и тех же значениях вторичной нагрузки и первичного тока уменьшает и вторичную э.д.с.  $E_2 \Rightarrow$  уменьшается индукция  $B_{\text{макс}} \Rightarrow$  уменьшаются токовые и угловые погрешности ТТ.
- Влияние частоты тока.
  - С увеличением частоты переменного тока индукция  $B_{\text{макс}}$  в магнитопроводе уменьшается  $\Rightarrow$  уменьшается м.д.с. намагничивания  $\Rightarrow$  уменьшаются токовая и угловая погрешности ТТ (угловая погрешность может приобретать при этом отрицательные значения).
- Влияние вторичной (внешней) нагрузки  $z_{2Н}$ .
  - Увеличение вторичной нагрузки  $\Rightarrow$  возрастание э.д.с.  $E_2$  и угла  $\alpha \Rightarrow$  повышение индукции  $B_{\text{макс}}$  и увеличение м.д.с. намагничивания  $F_0 \Rightarrow$  возрастают токовая и угловая погрешности.
- Влияние коэффициента мощности вторичной нагрузки  $\cos \phi_2$ .
  - Увеличение  $\cos \phi_2$  при неизменной вторичной нагрузке  $z_{2Н} \Rightarrow$  уменьшение угла  $\alpha \Rightarrow$  уменьшение токовой погрешности  $f_i$ , и увеличение угловой  $\delta$  (при значительном уменьшении  $\cos \phi_2$  угловая погрешность может приобретать отрицательные значения).

## 8.2.5 Трансформаторы тока.

### Влияние технических и конструктивных параметров трансформаторов тока на токовую и угловую погрешности (окончание)

- Влияние средней длины магнитного пути  $l_M$ 
  - Уменьшение средней длины магнитного пути  $\Rightarrow$  уменьшение токовая и угловая погрешности (хорошее средство улучшения характеристик ТТ).
  - $l_M$  не может произвольно изменяться  $\Leftarrow$  внутренний диаметр магнитопровода определяется поперечным сечением и числом витков первичной и вторичной обмоток, а также толщиной изоляции между первичной и вторичной обмотками.
- Влияние сопротивления вторичной обмотки.
  - Уменьшение активного  $r_{2обм}$  и индуктивного  $x_{2обм}$  сопротивления вторичной обмотки  $\Rightarrow$  уменьшает сопротивление ветви вторичного тока  $z_2$  и э.д.с.  $E_2 \Rightarrow$  уменьшение м.д.с. намагничивания  $\Rightarrow$  уменьшение токовой и угловой погрешностей.
- Влияние магнитных свойств материала магнитопровода на токовую и угловую погрешности ТТ оказывается значительным, т.к. от марки материала зависит удельная м.д.с. намагничивания и угол потерь.



# 8.2.6 Трансформаторы тока.

## Классы точности и нормы погрешности

- Классы точности и нормы погрешностей ТТ установлены ГОСТ 7746-2001 «Трансформаторы тока. Основные технические требования».
- ТТ для измерения разделяются на следующие классы: 0,2, 0,2S, 0,5, 0,5S, 1.
- Класс точности характеризует предельные погрешности ТТ при различных значениях тока в первичной обмотке и вторичной нагрузки.
- Число, обозначающее класс точности, соответствует предельной допустимой токовой погрешности ТТ при номинальном токе.
- Рабочие условия применения ТТ следующие:
  - частота переменного тока  $50 \pm 0,5$  Гц;
  - первичный ток до 120% номинального;
  - вторичная нагрузка от 25 до 100% номинальной при значениях номинальной нагрузки 60 В · А и выше, а для номинальных нагрузок 1; 2; 2,5; 3; 5 и 10 ВА нижний предел равен соответственно 0,8; 1,25; 1,5; 1,75; 3,75; и 3,75 ВА;
  - температура окружающего воздуха – в соответствии со стандартами или техническими условиями на трансформаторы конкретных типов.



# 8.2.7 Трансформаторы тока.

Пределы допустимых погрешностей вторичных обмоток трансформаторов тока (ГОСТ 7746-2001).

Класс точности	Первичный ток % от номин.	Предел допустимой погрешности			Предел вторичной нагрузки, % от номин.
		токовой, %	угловой		
			мин.	срад.	
0,1	5	$\pm 0,4$	$\pm 16$	$\pm 0,45$	25-100
	20	$\pm 0,2$	$\pm 8$	$\pm 0,24$	
	100-120	$\pm 0,1$	$\pm 5$	$\pm 0,15$	
0,2	5	$\pm 0,75$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	25-100
	20	$\pm 0,35$	$\pm 15$	$\pm 0,45$	
	100-120	$\pm 0,2$	$\pm 10$	$\pm 0,3$	
0,2S	1	$\pm 0,75$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	25-100
	5	$\pm 0,35$	$\pm 15$	$\pm 0,45$	
	20	$\pm 0,2$	$\pm 10$	$\pm 0,3$	
	100-120	$\pm 0,2$	$\pm 10$	$\pm 0,3$	
0,5	5	$\pm 1,5$	$\pm 90$	$\pm 2,7$	25-100
	20	$\pm 0,75$	$\pm 45$	$\pm 1,35$	
	100-120	$\pm 0,5$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	
0,5S	1	$\pm 1,5$	$\pm 90$	$\pm 2,7$	25-100
	5	$\pm 0,75$	$\pm 45$	$\pm 1,35$	
	20	$\pm 0,5$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	
	100-120	$\pm 0,5$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	
1	5	$\pm 3$	$\pm 180$	$\pm 5,4$	25-100
	20	$\pm 1,5$	$\pm 90$	$\pm 2,7$	
	100-120	$\pm 1$	$\pm 60$	$\pm 1,8$	

Примечание.

1. Классы точности 0,2S и 0,5S только для трансформаторов с вторичным номинальным током 5 А, предназначенных для коммерческого учета электроэнергии.

## 8.2.8 Трансформаторы тока.

- Номинальная вторичная нагрузка  $Z_{\text{н.ном}}$  – полное сопротивление внешней вторичной цепи трансформатора тока, имеющей коэффициент мощности 0.8, при котором гарантируются класс точности или предельная кратность трансформатора тока.
- Номинальная вторичная нагрузка выражается в омах или вольт – амперах при номинальном вторичном токе. Её значение устанавливается заводами – изготовителями трансформаторов тока и указывается на щитке, как и класс точности.
- Токовые погрешности ТТ классов 0,2, 0,2S, 0,5, 0,5S, 1 не должны выходить за пределы ломаных линий, состоящих из отрезков, проведенных через точки предельных погрешностей для значений первичного тока 10, 20 и 100—120% номинального. Эти ломаные линии являются границами нормированных токовых погрешностей ТТ, и пространство между ними называется полем погрешностей.

# 8.2.9 Трансформаторы тока.

## Способы уменьшения погрешностей

- Специальные способы уменьшения погрешностей обеспечивают уменьшение погрешностей при нормальном режиме работы ТТ, т.е. при изменении первичного тока в диапазоне от 10 до 120% номинального.
- Одни из этих способов позволяют уменьшить только токовую погрешность, другие — одновременно и токовую и угловую, и, наконец, третьи — только угловую погрешность.
- При проектировании трансформаторов тока наиболее часто появляется необходимость в уменьшении токовой погрешности.
- Способы уменьшения токовой погрешности:
  - Витковая коррекция;
  - Компенсация погрешностей спрямлением кривой намагничивания;
  - Компенсация погрешностей подмагничиванием магнитопровода (от постоянного источника, от вспомогательного ТТ, противонамагничиванием, подмагничиванием поля рассеяния;
  - Компенсация погрешности созданием нулевого потока.



## 8.3.1 Трансформаторы напряжения

Трансформатор напряжения (ТН) предназначен для измерения высокого напряжения с помощью стандартных измерительных приборов, а также для отделения цепей измерения и защиты от первичных цепей высокого напряжения, обеспечивая тем самым безопасность обслуживающего персонала. Первичную обмотку ТН включают параллельно в цепь измеряемого напряжения. К вторичной цепи приборы подключаются также параллельно.

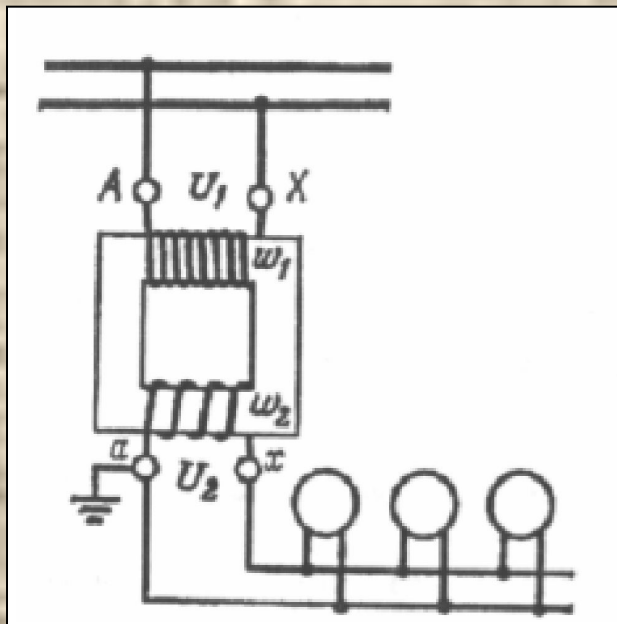
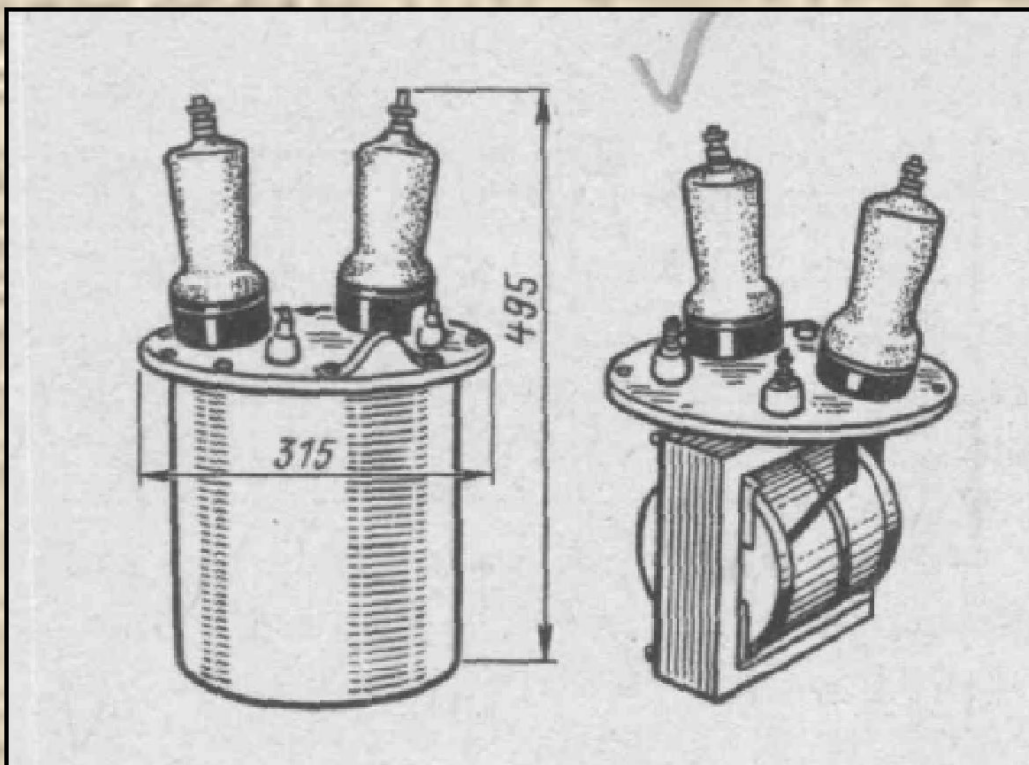


Схема устройства  
измерительного  
трансформатора  
напряжения

## 8.3.2 Трансформаторы напряжения

### Однофазный трансформатор напряжения типа НОМ.



Он имеет значительные размеры и массу: его высота составляет 495 мм и масса 36 кг. По мере повышения напряжения размеры, масса и стоимость трансформаторов такой конструкции быстро увеличиваются. Чтобы устранить эти недостатки, необходимо изменить конструкцию трансформатора.

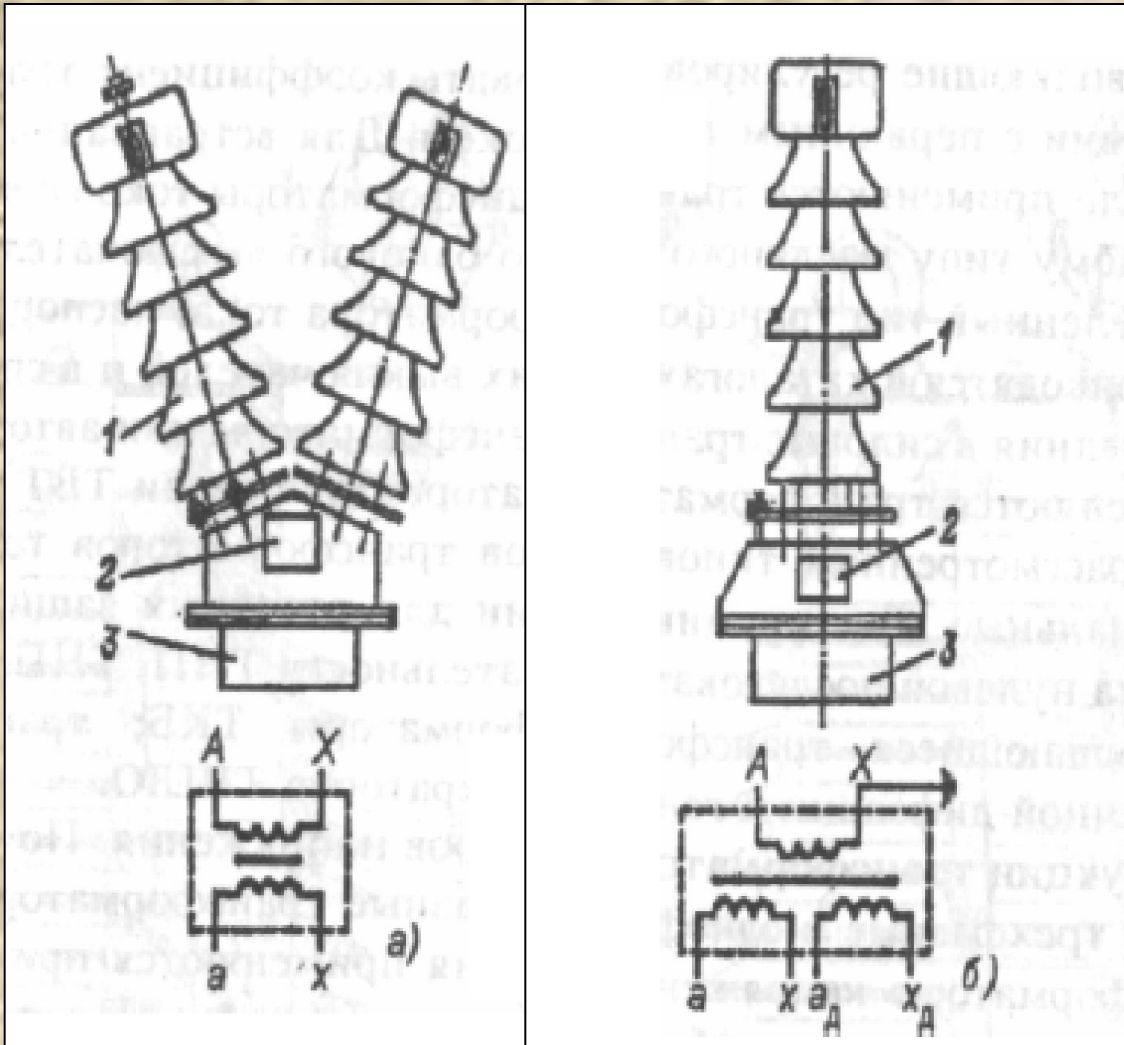
## 8.3.3 Трансформаторы напряжения

Более совершенной является конструкция с применением однородной изоляции из бумаги, пропитанной маслом, похожую на изоляцию маслонаполненного кабеля. Масляные каналы устранены. Это позволило резко уменьшить изоляционные расстояния, размеры магнитопровода и кожуха. Изоляция вводов является продолжением изоляции обмотки и входит в фарфор изоляторов. Масло в изоляторах сообщается с маслом в кожухе. Воздушное пространство под крышкой отсутствует. Количество масла резко уменьшено.



# 8.3.4 Трансформаторы напряжения

Трансформаторы напряжения однофазные масляные

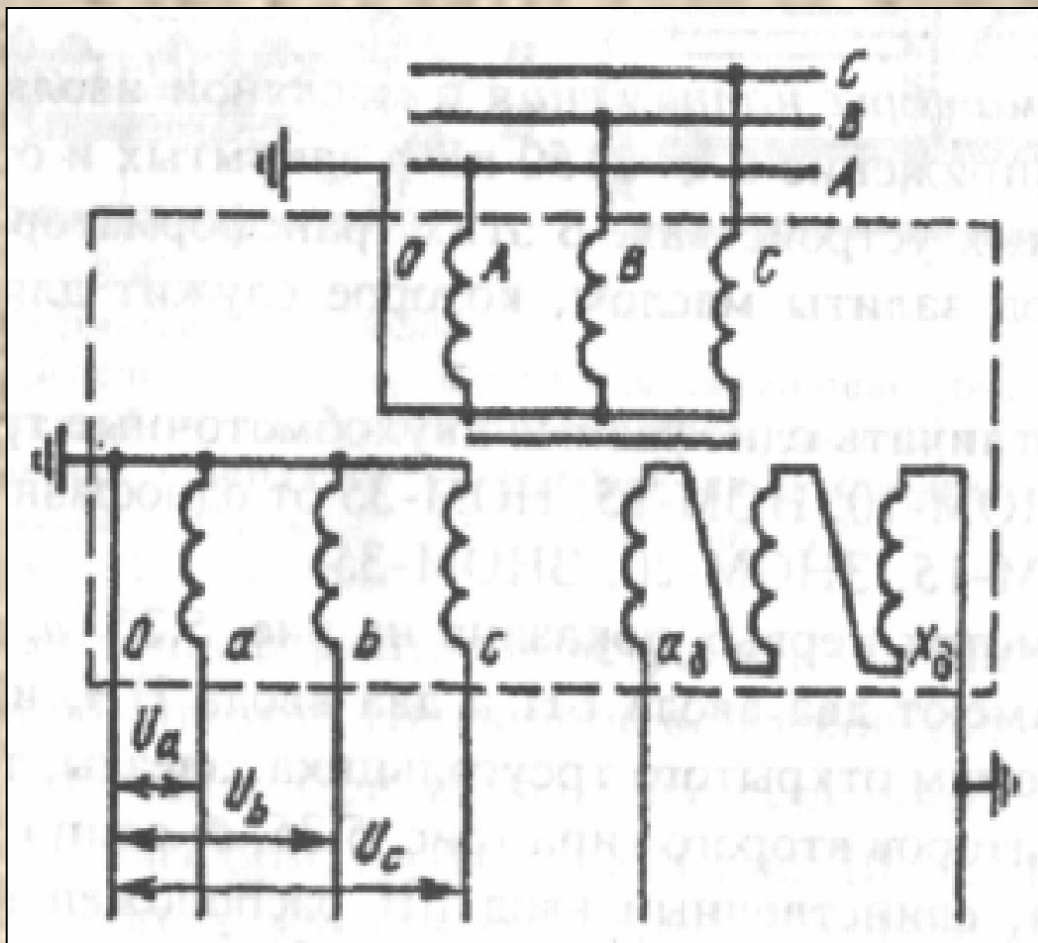


а - типа НОМ-35  
однофазный  
двухобмоточный  
трансформатор;  
б - типа ЗНОМ-35  
однофазных  
трехобмоточных

1 - ввод высокого  
напряжения;  
2 - коробка вводов  
НН;  
3 - бак

# 8.3.5 Трансформаторы напряжения

Схемы соединения обмоток трансформаторов напряжения



## 8.3.6 Трансформаторы напряжения

### Характеристики трансформаторов напряжения

- Погрешностью напряжения трансформатора напряжения называется погрешность, которую вносит трансформатор при измерении напряжения, возникающая вследствие того, что действительный коэффициент трансформации не равен номинальному.
- Угол  $\delta$  между векторами первичного и вторичного напряжений представляет собой угловую погрешность трансформатора.

$$f = \frac{U_2 K_{\text{НОМ}} - U_1}{U_1}$$

- Вторичная нагрузка трансформатора напряжения – условное понятие, а именно: полная (кажущаяся) мощность внешней вторичной цепи,  $V \cdot A$ , найденная в предположении, что напряжение у вторичных зажимов равно номинальному:

$$S_2 = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{Z} = \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

- Вместе со значением  $S_2$  должен быть указан коэффициент мощности цепи. Эти две величины  $S_2$  и  $\cos \phi_2$  полностью определяют сопротивление внешней цепи и вторичную нагрузку трансформатора.



## 8.3.7 Трансформаторы напряжения

### Погрешности ТН

Погрешности трансформатора напряжения зависят:

- от размеров магнитопровода,
- магнитных свойств стали,
- конструкции обмотки,
- сечения проводов,
- от присоединенной нагрузки
- первичного напряжения.

Чтобы уменьшить погрешности трансформаторов напряжения, выбирают меньшую плотность тока в обмотках и меньшую магнитную индукцию в магнитопроводе по сравнению с соответствующими значениями для силовых трансформаторов.

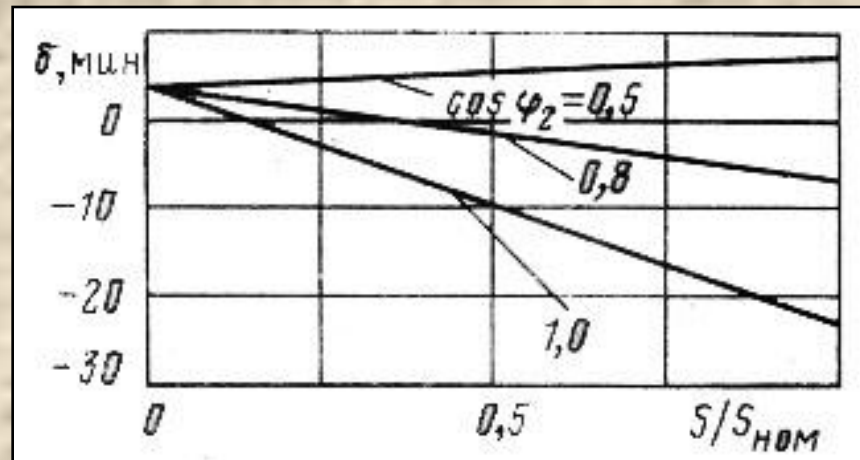
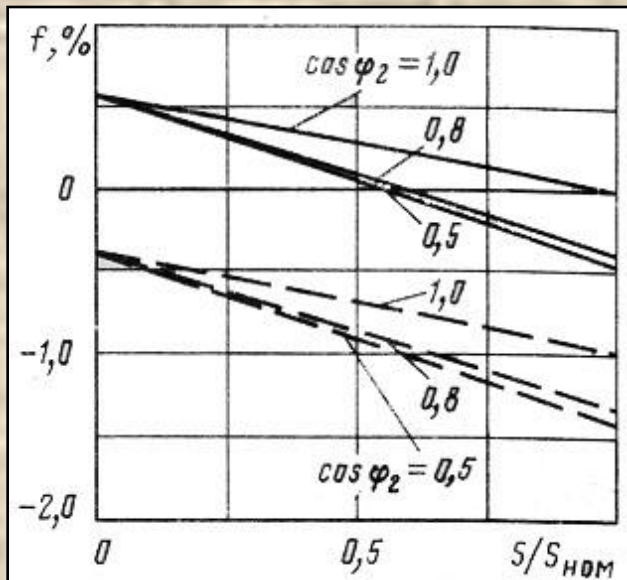
# 8.3.8 Трансформаторы напряжения

## Характеристики погрешностей трансформатора напряжения

- Характеристики представляют собой наклонные прямые, проведенные из общей точки, соответствующей погрешности при холостом ходе. Наклон характеристик определяется коэффициентом мощности нагрузки и углом  $\phi_k$  из выражения

$$\operatorname{tg}\varphi_k = \frac{X_1 + X_2'}{R_1 + R_2'}$$

- Составляющая погрешности, зависящая от намагничивающего тока, значительно меньше составляющей от тока нагрузки, изменение напряжения в широких пределах ниже номинального мало отражается на полной погрешности трансформатора напряжения. При увеличении напряжения выше номинального погрешность может сильно возрасти, если индукция, соответствующая номинальному напряжению, выбрана относительно высокой.



## 8.3.9 Трансформаторы напряжения

Пределы допустимых погрешностей трансформаторов напряжения (ГОСТ 1983-2001).

Класс точности	Предел допустимой погрешности		
	напряжения, %	Угловой	
		мин.	срад.
0,1	$\pm 0,1$	$\pm 5,0$	$\pm 0,2$
0,2	$\pm 0,2$	$\pm 10,0$	$\pm 0,3$
0,5	$\pm 0,5$	$\pm 20,0$	$\pm 0,6$
1,0	$\pm 1,0$	$\pm 40,0$	$\pm 1,2$



# 8.3.10 Трансформаторы напряжения

## Параметры рабочей области ТН

- частота переменного тока  $50 \pm 0,5$  Гц;
- мощность активно – индуктивной нагрузки при коэффициенте мощности  $\cos \phi \geq 0,8$  в пределах от  $0,25 S_{\text{ном}} (U_1 / U_{1\text{ном}})^2$  до  $S_{\text{ном}} (U_1 / U_{1\text{ном}})^2$ , где  $S_{\text{ном}}$  – номинальная мощность в данном классе точности,  
 $U_{1\text{ном}}$  – номинальное первичное напряжение;
- первичное напряжение  $U_1$  от 0,8 до 1,2 номинального;
- температура окружающего воздуха – в соответствии со стандартами или техническими условиями на трансформаторы конкретных типов.
- Трансформатор напряжения может иметь несколько значений номинальной мощности  $S_{\text{ном}}$ , указанных на его щитке. При этом более высокий класс точности соответствует меньшему значению номинальной мощности.

# 8.3.11 Трансформаторы напряжения

## Загрузка ТТ и ТН

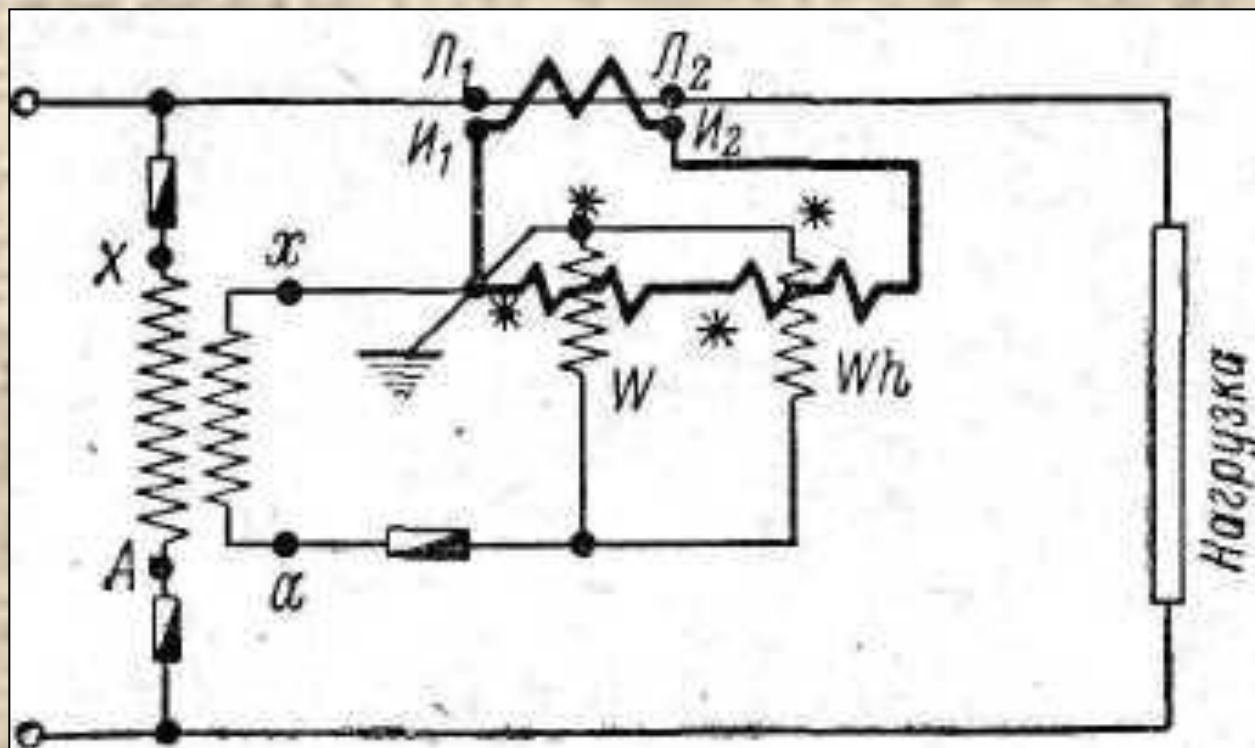
В реальных условиях загрузка первичных цепей ТТ намного ниже номинальной по трем причинам:

- средняя нагрузка всегда ниже максимальной, а погрешность измерения электроэнергии – это погрешность, соответствующая средней нагрузке;
- потребление электроэнергии предприятиями в настоящее время намного меньше, чем было в тот период, когда строились сети и устанавливались ТТ;
- даже в тот период, когда строились сети, ТТ выбирались с запасом по пропускной способности из расчета роста нагрузок в перспективе.

На практике вторичные цепи ТН загружены достаточно сильно. Вместе с малой загрузкой первичных цепей ТТ это приводит к систематической погрешности в сторону недоучета электроэнергии. Перегрузка вторичных цепей ТТ также влияет на точность учета, однако в гораздо меньшей степени, чем недогрузка первичных.

При малых нагрузках первичной цепи ТТ погрешность измерения угла  $\theta_I$  увеличивается в плюс, при больших нагрузках вторичной цепи ТН погрешность измерения угла  $\theta_U$  увеличивается в минус, в результате оба фактора (малая загрузка ТТ и большая загрузка ТН) увеличивают разность  $\theta_I - \theta_U$ , приводя к уменьшению активной и увеличению реактивной энергии (т.е. тоже к недоучету энергии). Так как классы точности ТТ и ТН в точках учета поступления энергии в сеть существенно выше, чем в точках ее отпуска потребителям, загрузки ТТ в среднем выше, а ТН ниже, разница систематических угловых погрешностей также обуславливает недоучет (дополнительные потери электроэнергии) на объекте.

## 8.4.1 Включение ваттметра и счетчика через измерительные трансформаторы



ваттметр  $W$  и  
счетчик  $W_h$



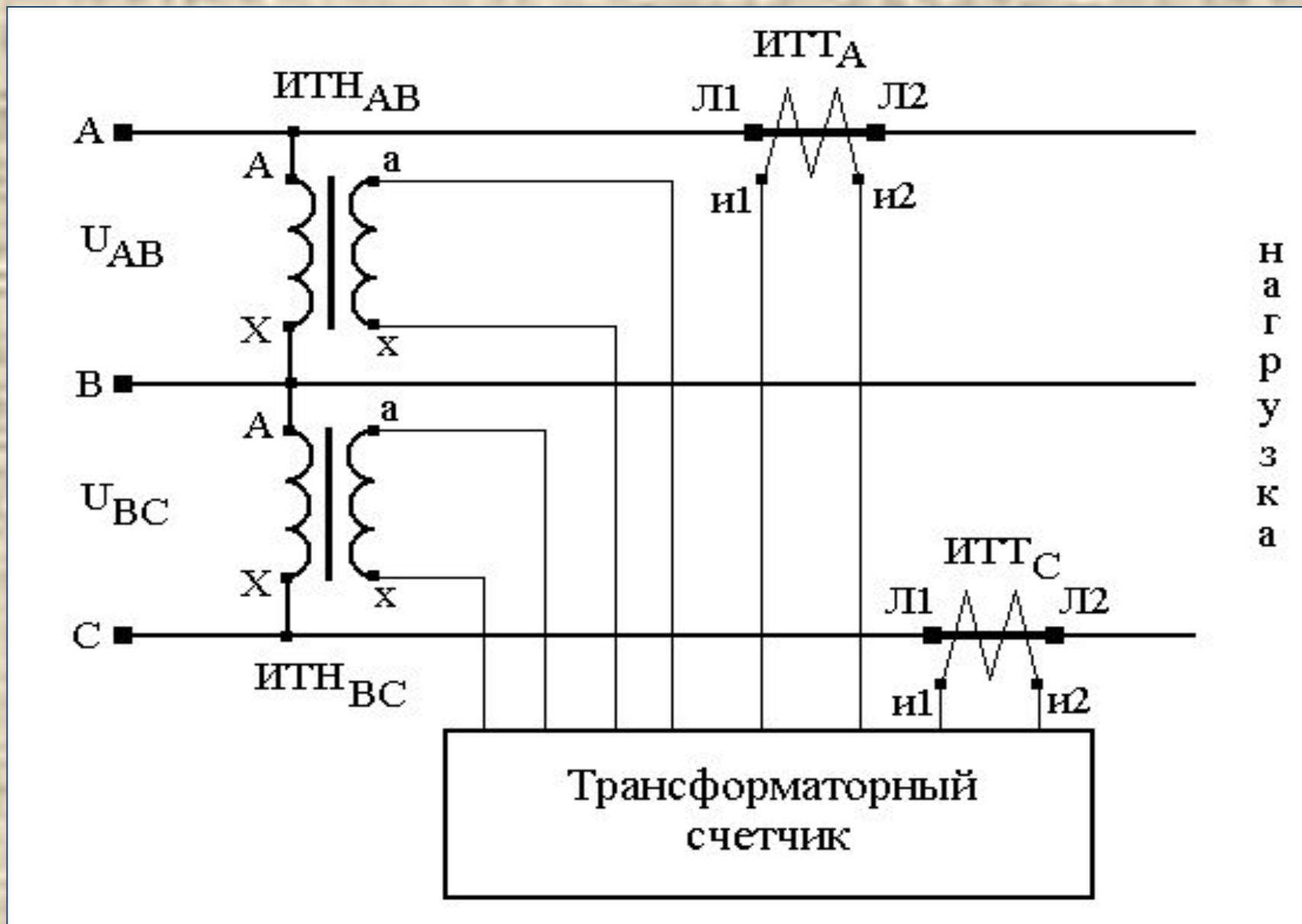
## 8.4.2 Включение ваттметра и счетчика через измерительные трансформаторы

На приведенном выше рисунке показана схема включения ваттметра  $W$  и счетчика  $Wh$  через измерительные трансформаторы напряжения и тока, причем для обеспечения безопасности вторичные цепи трансформаторов заземлены. Как видно из этой схемы, генераторные концы измерительных трансформаторов, а также ваттметра и счетчика присоединены так, чтобы обеспечить правильность показаний приборов. Если при градуировке ваттметра и при выборе счетного механизма счетчика энергии коэффициенты трансформации измерительных трансформаторов были учтены, то никаких поправок в показания приборов вводить не следует. Если же в схеме рис. 5 применены приборы, не предназначенные для включения через измерительные трансформаторы, то показания приборов надо умножить на произведение коэффициентов трансформации трансформаторов тока и напряжения.

# **9. Сравнение погрешности измерения электрической энергии трансформаторного счетчика и счетчика прямого включения в трехпроводную линию 10 кВ**



# Схема включения трансформаторного счетчика в трехпроводную линию







## Классы точности и нормы погрешности

- Классы точности и нормы погрешностей ТТ установлены ГОСТ 7746-2001 «Трансформаторы тока. Основные технические требования».
- ТТ для измерения разделяются на следующие классы: 0,2, 0,2S, 0,5, 0,5S, 1.
- Класс точности характеризует предельные погрешности ТТ при различных значениях тока в первичной обмотке и вторичной нагрузки.
- Число, обозначающее класс точности, соответствует предельной допустимой токовой погрешности ТТ при номинальном токе.
- Рабочие условия применения ТТ следующие:
  - частота переменного тока  $50 \pm 0,5$  Гц;
  - первичный ток до 120% номинального;
  - вторичная нагрузка от 25 до 100% номинальной при значениях номинальной нагрузки 60 В · А и выше, а для номинальных нагрузок 1; 2; 2,5; 3; 5 и 10 ВА нижний предел равен соответственно 0,8; 1,25; 1,5; 1,75; 3,75; и 3,75 ВА;
  - температура окружающего воздуха – в соответствии со стандартами или техническими условиями на трансформаторы конкретных типов.

# Пределы допустимых погрешностей трансформаторов тока (ГОСТ 7746-2001).

Класс точности	Первичный ток % от номин.	Предел допустимой погрешности			Предел вторичной нагрузки, % от номин.
		токовой, %	угловой		
			мин.	срад.	
0,1	5	$\pm 0,4$	$\pm 16$	$\pm 0,45$	25-100
	20	$\pm 0,2$	$\pm 8$	$\pm 0,24$	
	100-120	$\pm 0,1$	$\pm 5$	$\pm 0,15$	
0,2	5	$\pm 0,75$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	25-100
	20	$\pm 0,35$	$\pm 15$	$\pm 0,45$	
	100-120	$\pm 0,2$	$\pm 10$	$\pm 0,3$	
0,2S	1	$\pm 0,75$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	25-100
	5	$\pm 0,35$	$\pm 15$	$\pm 0,45$	
	20	$\pm 0,2$	$\pm 10$	$\pm 0,3$	
	100-120	$\pm 0,2$	$\pm 10$	$\pm 0,3$	
0,5	5	$\pm 1,5$	$\pm 90$	$\pm 2,7$	25-100
	20	$\pm 0,75$	$\pm 45$	$\pm 1,35$	
	100-120	$\pm 0,5$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	
0,5S	1	$\pm 1,5$	$\pm 90$	$\pm 2,7$	25-100
	5	$\pm 0,75$	$\pm 45$	$\pm 1,35$	
	20	$\pm 0,5$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	
	100-120	$\pm 0,5$	$\pm 30$	$\pm 0,9$	
1	5	$\pm 3$	$\pm 180$	$\pm 5,4$	25-100
	20	$\pm 1,5$	$\pm 90$	$\pm 2,7$	
	100-120	$\pm 1$	$\pm 60$	$\pm 1,8$	



Пределы допустимых погрешностей трансформаторов  
напряжения (ГОСТ 1983-2001).

Класс точности	Предел допустимой погрешности		
	напряжения, %	Угловой	
		мин.	срад.
0,1	$\pm 0,1$	$\pm 5,0$	$\pm 0,2$
0,2	$\pm 0,2$	$\pm 10,0$	$\pm 0,3$
0,5	$\pm 0,5$	$\pm 20,0$	$\pm 0,6$
1,0	$\pm 1,0$	$\pm 40,0$	$\pm 1,2$

# Параметры рабочей области ТН

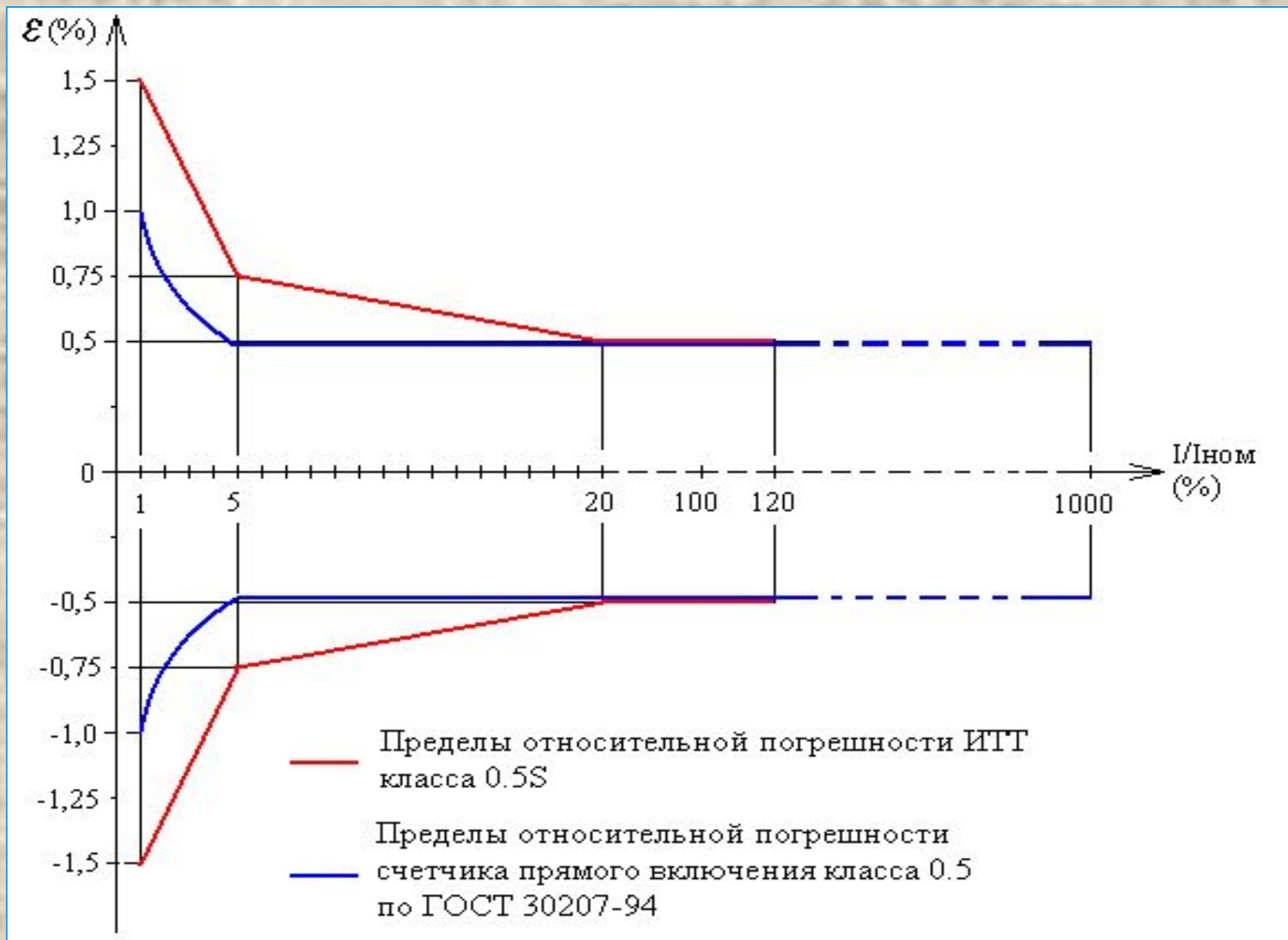
- частота переменного тока  $50 \pm 0,5$  Гц;
- мощность активно – индуктивной нагрузки при коэффициенте мощности  $\cos\phi_2$  0,8 в пределах от  $0,25S_{\text{НОМ}} (U_1/U_{1\text{НОМ}})^2$  до  $S_{\text{НОМ}} (U_1/U_{1\text{НОМ}})^2$ , где  $S_{\text{НОМ}}$  – номинальная мощность в данном классе точности,  
 $U_{1\text{НОМ}}$  – номинальное первичное напряжение;
- первичное напряжение  $U_1$  от 0,8 до 1,2 номинального;
- температура окружающего воздуха – в соответствии со стандартами или техническими условиями на трансформаторы конкретных типов.
- Трансформатор напряжения может иметь несколько значений номинальной мощности  $S_{\text{НОМ}}$ , указанных на его щитке. При этом более высокий класс точности соответствует меньшему значению номинальной мощности.

**Пределы погрешности**  
 (для однофазных и многофазных электронных счетчиков с  
 симметричной нагрузкой)  
 (ГОСТ 30206-94).

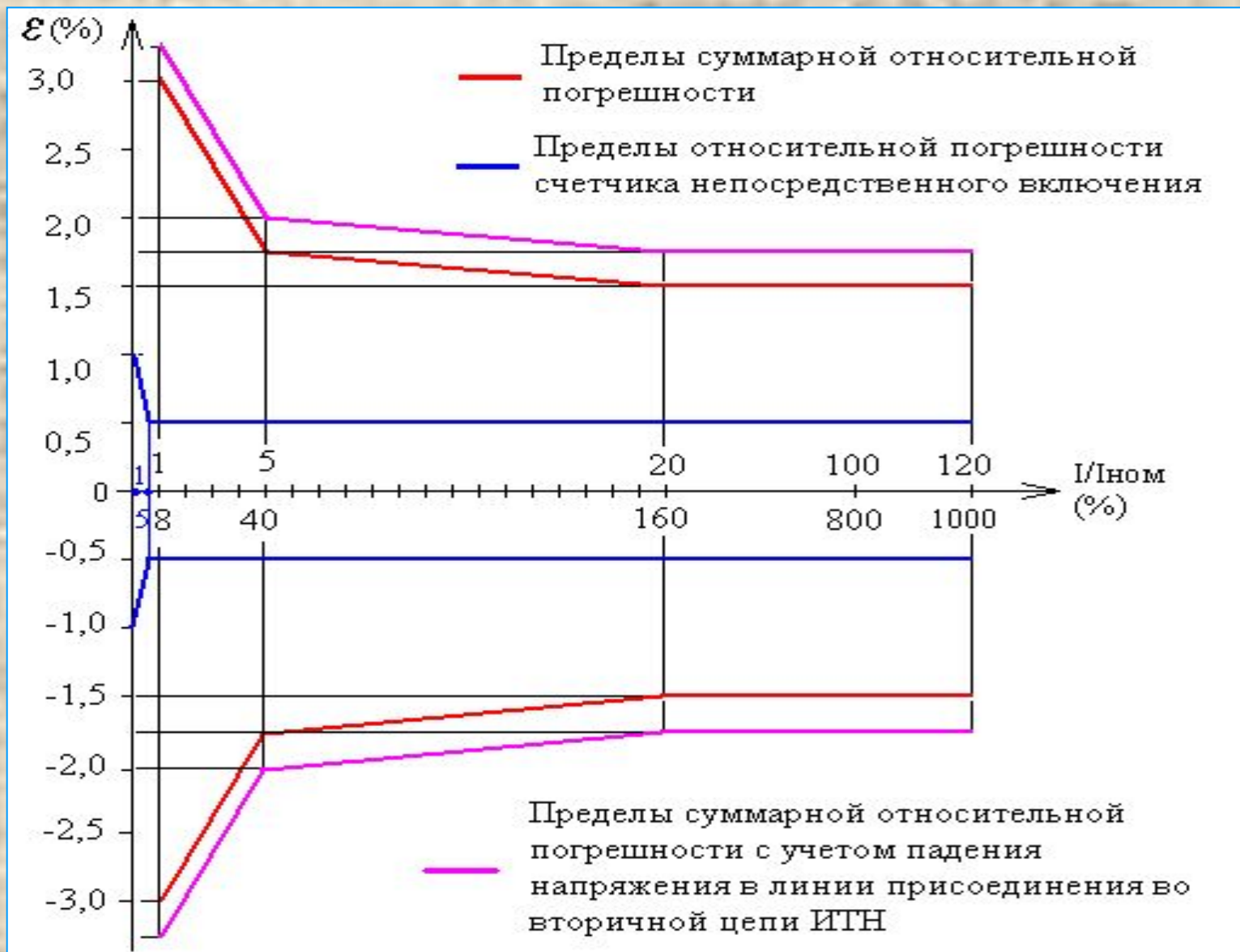
Значения тока	Коэффициент мощности	Пределы погрешности, %, для счетчиков класса точности	
		0,2S	0,5S
$0,01 I_{\text{НОМ}} \leq I < 0,05 I_{\text{НОМ}}$	1	$\pm 0,4$	$\pm 1,0$
$0,05 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{max}}$	1	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$
$0,02 I_{\text{НОМ}} \leq I < 0,1 I_{\text{НОМ}}$	0,5 инд.	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$
	0,8 емк.		
$0,1 I_{\text{НОМ}} \leq I \leq I_{\text{max}}$	0,5 инд.	$\pm 0,3$	$\pm 0,6$
	0,8 емк.		
	0,5 емк.		



# Пределы относительной погрешности ИТТ кл. 0.5S и счетчика прямого включения кл. 0.5 (ГОСТ 30206-94)



# Пределы относительной погрешности измерения электрической энергии трансформаторным счетчиком кл. 0.5 (ГОСТ 30206-94), ИТТ кл. 0.5S и ИТН кл. 0.5



# Выводы:

1. Диапазон входной мощности при измерении электрической энергии счетчиком прямого включения увеличивается в 8 раз по сравнению с трансформаторным счетчиком.
2. Пределы относительной погрешности измерения электрической энергии счетчиком прямого включения уменьшаются более чем в три раза при больших токах (20%-120%)  $I_{\text{ном}}$  и от четырех до шести раз в диапазоне от 1% до 20%  $I_{\text{ном}}$ .
3. Погрешность трансформаторного счетчика в диапазоне от 0.125% до 1%  $I_{\text{ном}}$  вообще не нормируется, в то время как у счетчика прямого включения она нормируется и не превышает удвоенного значения (в %) класса точности счетчика.
4. Цена счетчика прямого включения для ЛЭП 10 кВ по предварительным оценкам должна быть существенно ниже цены трансформаторного счетчика.