



Трехфазный счетчик электроэнергии с импульсным выходом

ADE7752*

ОСОБЕННОСТИ

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

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

ИС ADE7752 представляет собой микросхему для счетчиков электроэнергии высокой точности. Технические характеристики данной ИС превосходят

*Патенты на технические решения заявлены.

REV. A

Предполагается, что информация, предоставленная компанией Analog Devices Inc., является точной и достоверной. Тем не менее компания Analog Devices Inc. не несет ответственности за использование этой информации, а также за нарушения патентов или прав третьих сторон, которые могут возникнуть при использовании этой информации. Никакая лицензия не предоставляется ни прямо, ни косвенно, на объекты, подпадающие под патентные права фирмы Analog Devices Inc.

Авторы перевода приложили немалые усилия для того, чтобы сделать его качественным и достоверным. Однако при возникновении разночтений между переводом и оригинальным изданием на английском языке следует полагаться на информацию, изложенную в оригинале.

требования по точности, предъявляемые стандартом IEC61036. Аналоговая часть микросхемы ADE7752 состоит только из аналого-цифровых преобразователей и источника опорного напряжения. Все дальнейшие преобразования сигнала, такие как перемножение, фильтрация и сложение, производятся над цифровым сигналом. Такой подход обеспечивает очень высокую стабильность и точность при предельных значениях параметров окружающей среды и в течение длительного времени.

Микросхема ADE7752 выдает информацию о средней активной мощности в виде низкочастотных импульсов на выходах F1 и F2. Эти логические выходы могут быть использованы непосредственно для управления электромеханическим счетным механизмом или могут подключаться к микроконтроллеру. Импульсный выход CF дает информацию о мгновенной активной мощности. Этот выход предназначен для калибровки.

ИС ADE7752 содержит схему контроля напряжения питания на выводе V_{DD}. Микросхема ADE7752 остается в неактивном состоянии до тех пор, пока напряжение источника питания не достигнет 4 В. Если напряжение источника питания падает ниже 4 В, ИС ADE7752 также переходит в состояние сброса, при этом импульсы на выходах F1, F2 и CF отсутствуют.

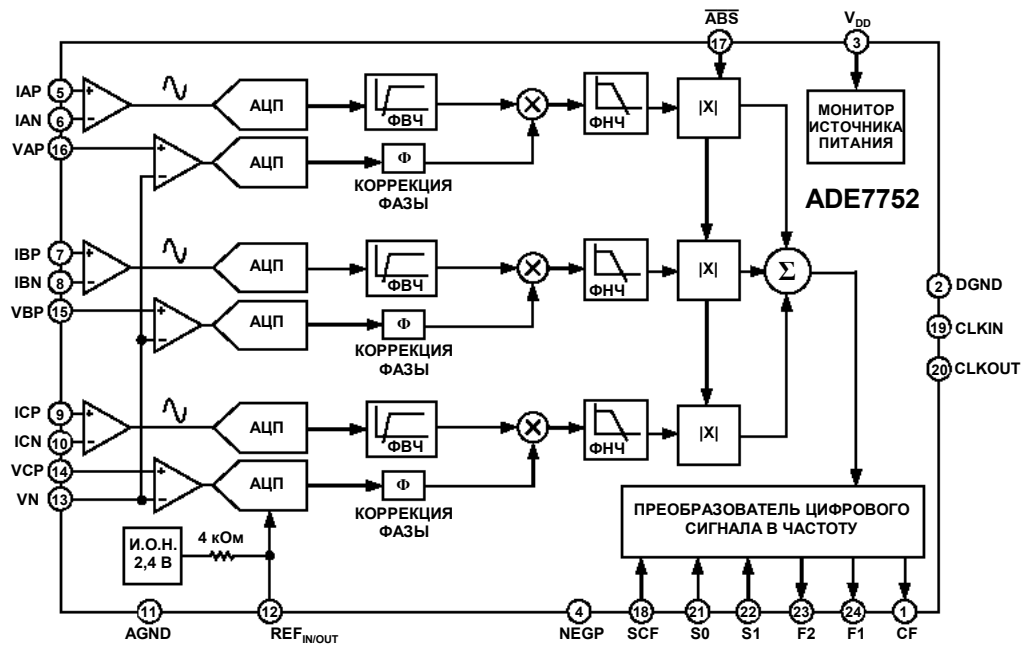
Внутренняя схема коррекции фазы обеспечивает соответствие фаз сигналов в каналах измерения тока и напряжения. Внутренний пороговый детектор отсутствия нагрузки гарантирует, что у счетчика ADE7752 будет отсутствовать самоход, т.е. счетчик не будет регистрировать потребление электроэнергии при отсутствии нагрузки.

ИС ADE7752 выпускается в корпусе SOIC с 24 выводами.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781/329-4700 www.analog.com
Fax: 781/326-8703

© Analog Devices, Inc., 2002

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ИС ADE7752



Характеристики ADE7752

($V_{DD} = 5\text{ В} \pm 5\%$, $AGND = DGND = 0\text{ В}$, встроенный источник опорного напряжения, тактовая частота $CLKIN = 10\text{ МГц}$, $T_{MIN} \dots T_{MAX} = -40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$.)

Параметр	Условия измерения	Значение			Единица измерения
		мин.	тип.	макс.	
ТОЧНОСТЬ^{1,2} Погрешность измерения в токовом канале Погрешность сдвига фаз между сигналами в каналах Коэффициент мощности $PF = 0,8$, емкостной характер нагрузки Коэффициент мощности $PF = 0,5$, емкостной характер нагрузки Подавление помех от источника питания на переменном токе Разброс значения выходной частоты (CF) Подавление помех от источника питания на постоянном токе Разброс значения выходной частоты (CF)	На входе канала напряжения присутствует сигнал полной шкалы ($\pm 500\text{ мВ}$), 25°C В динамическом диапазоне 500:1 $SCF = 0$; $S0 = S1 = 1$ $IA = IB = IC = 100\text{ мВ rms}$, $VA = VB = VC = 100\text{ мВ rms}$, @ 50 Гц Пульсации $V_{DD} 200\text{ мВ rms}$ @ 100 Гц $S1 = 1$; $S0 = SCF = 0$ $V1 = 100\text{ мВ rms}$, $V2 = 100\text{ мВ rms}$ $V_{DD} = 5\text{ В} \pm 250\text{ мВ}$		0,1		% от номин. знач.
			$\pm 0,1$		$^{\circ}$ (градусов)
			$\pm 0,1$		$^{\circ}$ (градусов)
			0,01		% от номин. знач.
			0,1		% от номин. знач.
АНАЛОГОВЫЕ ВХОДЫ Максимальные значения сигналов Входное сопротивление на постоянном токе Полоса частот (по уровню – 3 dB) Погрешность смещения АЦП ^{1,2} Погрешность усиления ¹	См. раздел "Аналоговые входы" $V_{AP}-V_N$, $V_{BP}-V_N$, $V_{CP}-V_N$, $I_{AP}-I_{AN}$, $I_{BP}-I_{BN}$, $I_{CP}-I_{CN}$ $CLKIN = 10\text{ МГц}$ $CLKIN/256$, $CLKIN = 10\text{ МГц}$ См. раздел "Терминология" и "Типичные характеристики" Внешний И.О.Н. 2,5 В $IA = IB = IC = 500\text{ мВ пост. тока}$			$\pm 0,5$	В, ампл., дифф.
		370	410		кОм
			14		кГц
				± 25	мВ
				± 9	% от идеального
ВХОД ИСТОЧНИКА ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ Диапазон напряжений на выводе $REF_{IN/OUT}$ Входное сопротивление Входная емкость	$2,4\text{ В} + 8\%$ $2,4\text{ В} - 8\%$	2,2 3,3		2,6	В В кОм пФ
ВНУТРЕННИЙ ИСТОЧНИК ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ Погрешность напряжения Температурный коэффициент напряжения	Номинальное напряжение 2,5 В		± 25	± 200	мВ $\cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, тип.
ВХОД CLKIN Частота генератора тактовых импульсов	Все технические характеристики даны для частоты $CLKIN = 10\text{ МГц}$		10		МГц

ADE7752

Параметр	Условия измерения	Значение			Единица измерения
		мин.	тип.	макс.	
ЛОГИЧЕСКИЕ ВХОДЫ ³ SCF, S0, S1 и \overline{ABS} Входное напряжение высокого уровня, V_{INH} Входное напряжение низкого уровня, V_{INL} Входной ток, I_{IN} Входная емкость, C_{IN}	$V_{DD} = 5 \text{ В} \pm 5\%$	2,4			В, мин.
	$V_{DD} = 5 \text{ В} \pm 5\%$			0,8	В, макс.
	Типичное значение 10 нА, $V_{IN} = 0 \dots V_{DD}$			± 3	мкА, макс.
				10	пФ, макс.
ЛОГИЧЕСКИЕ ВЫХОДЫ ³ F1 и F2 Выходное напряжение высокого уровня, V_{OH} Выходное напряжение низкого уровня, V_{OL} CF и NEGP Выходное напряжение высокого уровня, V_{OH} Выходное напряжение низкого уровня, V_{OL}	$I_{\text{ВЫТЕК.}} = 10 \text{ мА}$ $V_{DD} = 5 \text{ В}$	4,5			В, мин.
	$I_{\text{ВТЕК.}} = 10 \text{ мА}$ $V_{DD} = 5 \text{ В}$			0,5	В, макс.
	$V_{DD} = 5 \text{ В}$, $I_{\text{ВЫТЕК.}} = 5 \text{ мА}$	4			В, мин.
	$V_{DD} = 5 \text{ В}$, $I_{\text{ВТЕК.}} = 5 \text{ мА}$			0,5	В, макс.
ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ V_{DD} I_{DD}	Для достижения заявленных характеристик необходимо обеспечить: $5 \text{ В} \pm 5\%$	4,75		5,25	В
			12	16	мА

ПРИМЕЧАНИЯ

¹См. раздел "Терминология", где даны определения терминам.

²См. графики типичных характеристик.

³Образцы тестировались в первоначальном варианте и после каждого изменения в проекте или технологии, которые могли повлиять на этот параметр.

Спецификации могут подвергаться изменениям без уведомления.

Временные характеристики ADE7752^{1,2}

($V_{DD} = 5\text{ В} \pm 5\%$, $AGND = DGND = 0\text{ В}$, встроенный источник опорного напряжения, тактовая частота $CLKIN = 10\text{ МГц}$, $T_{MIN} \dots T_{MAX} = -40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$.)

Параметр	Значение	Условия измерения/ Комментарии	Единица измерения
t_1^3	275	Ширина импульсов F1 и F2 (высокий уровень)	мс
t_2	См. таблицу III	Период выходных импульсов. См. раздел "Передаточная функция"	с
t_3	$1/2 t_2$	Время от спада импульса F1 до спада импульса F2	с
$t_4^{3,4}$	96	Ширина импульса CF (высокий уровень)	мс
t_5^5	См. таблицу IV	Период импульсов CF. См. раздел "Передаточная функция"	с
t_6	$CLKIN/4$	Минимальное время между импульсами F1 и F2	с

ПРИМЕЧАНИЯ

¹Образцы тестировались в первоначальном варианте и после каждого изменения в проекте или технологии, которые могли повлиять на этот параметр.

²См. рис.1.

³Ширина импульсов F1, F2 и CF непостоянна для более высоких выходных частот. См. раздел "Частотные выходы".

⁴Сигнал на выходе CF не синхронизирован с сигналами F1 и F2

⁵В высокочастотном режиме ширина импульсов CF всегда составляет 1 мкс. См. раздел "Частотные выходы" и таблицу IV.

Спецификации могут подвергаться изменениям без уведомления.

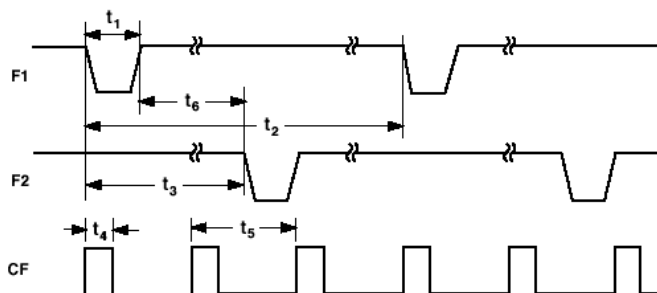


Рис. 1. Временная диаграмма сигналов на частотных выходах

ADE7752

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ*

(T_A = 25°C, если не указано другое значение)

Напряжение между выводами:

V_{DD} и AGND от -0,3 В до +7 В

V_{DD} и DGND от -0,3 В до +7 В

Напряжение на аналоговом входе
относительно AGND

V_{AP}, V_{BP}, V_{CP}, V_N, I_{AP}, I_{AN}, I_{BP}, I_{BN}, I_{CP} и I_{CN}
..... от -6 В до +6 В

Напряжение на входе REF_{IN/OUT}
относительно AGND от -0,3 В до V_{DD} + 0,3 В

Напряжение на цифровом входе
относительно DGND от -0,3 В до V_{DD} + 0,3 В

Напряжение на цифровом выходе
относительно DGND от -0,3 В до V_{DD} + 0,3 В

Рабочий температурный диапазон:

Индустриальный от -40°C до +85°C

Температурный диапазон хранения от -65°C до +150°C

Температура перехода +150°C

Рассеиваемая мощность

для 24-выводного корпуса SOIC 88 мВт

Температурное сопротивление

переход-среда θ_{JA} 112°C/Вт

Температура выводов при пайке

Из паровой фазы (60 сек) 215°C

Инфракрасным излучением (15 сек) 220°C

*Воздействия, выходящие за пределы перечисленных предельно допустимых характеристик, могут вызвать необратимые повреждения данного устройства. Эти характеристики относятся только к предельным воздействиям; здесь не подразумеваются характеристики устройства в рабочем режиме при различных условиях. Если устройство подвергается предельно допустимым воздействиям в течение продолжительного времени, надежность устройства может снизиться.

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ ЗАКАЗА

Модель	Описание продукта	Тип корпуса
ADE7752AR	SOIC	RW-24
ADE7752ARRL	SOIC в катушке	RW-24 в 13-дюймовой катушке
EVAL-ADE7752EB	Ознакомительная плата ADE7752	

ВНИМАНИЕ

Данная микросхема чувствительна к электростатическому разряду. Электростатический заряд напряжением до 4000 В может накопиться на теле человека или на оборудовании и незаметно разрядиться. Несмотря на то, что в ADE7752 имеется схема защиты от электростатического разряда, необратимое повреждение может произойти, если разряд был сильный. Таким образом, рекомендуется применять защитные меры против электростатического разряда во избежание ухудшения характеристик устройства или выхода его из строя.



ТЕРМИНОЛОГИЯ

Погрешность измерения

Погрешность измерения при подсчете количества электрической энергии прибором ADE7752 определяется следующей формулой:

$$\% \text{Погрешности} =$$

$$\frac{(\text{Энергия, зарегистрированная ADE7752} - \text{Фактическое кол-во энергии})}{\text{Фактическое кол-во энергии}} \cdot 100\%$$

Погрешность фазы между каналами

Фильтр высокой частоты в токовом канале вносит в сигнал опережающий фазовый сдвиг. Для того чтобы сдвинуть этот сигнал по фазе и выровнять задержки по фазе между каналами, в токовом канале также имеется схема коррекции фазы. Данная схема коррекции фазы обеспечивает соответствие фаз сигналов в пределах $\pm 0,1^\circ$ в диапазоне частот от 45 Гц до 65 Гц и $\pm 0,2^\circ$ в диапазоне от 40 Гц до 1 кГц. См. рис. 12 и 13.

Подавление влияния нестабильности напряжения питания

Эта величина характеризует погрешность измерения потребляемой мощности микросхемой ADE7752, вызванную нестабильностью напряжения источника питания.

Для измерения степени влияния переменной составляющей напряжения питания ИС ADE7752 на результат измерения производилось измерение потребляемой мощности при номинальном напряжении питания (5 В). Затем в напряжение источника питания была введена помеха частотой 100 Гц и напряжением 200 мВ (среднеквадратичное значение, далее обозначается rms) и производилось снятие показаний ИС ADE7752 при том же уровне входного сигнала. Возникающая при этом погрешность выражалась в процентах (см. определение погрешности измерения). Для измерения степени влияния нестабильности питающего напряжения на постоянном токе производилось измерение потребляемой мощности при номинальном напряжении питания (5 В). Затем напряжение источника питания изменялось в пределах $\pm 5\%$ и производилось снятие показаний счетчика ADE7752 при том же уровне входного сигнала.

Возникающая при этом погрешность выражалась в процентах.

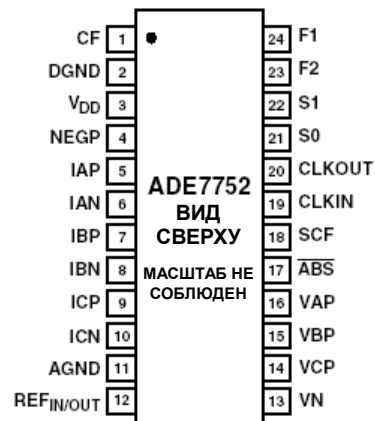
Погрешность смещения АЦП

Эта погрешность возникает из-за наличия постоянного напряжения смещения, связанного с аналоговыми входами АЦП. Это означает, что если замкнуть аналоговые выходы на землю, АЦП все же будет показывать наличие небольшого сигнала постоянного тока (смещения). Однако, когда фильтр высокой частоты включен, эффект постоянного смещения устраняется из токового канала V1 и на подсчет потребляемой мощности эта ошибка не влияет.

Погрешность усиления

Погрешность усиления ИС ADE7752 определяется как разница между измеренной частотой на выходе ИС (без учета смещения) и выходной частотой в идеальном случае. Разница выражается в процентах от частоты в идеальном случае. Частота в идеальном случае вычисляется из передаточной функции ИС ADE7752 (см. раздел "Передаточная функция").

РАСПОЛОЖЕНИЕ ВЫВОДОВ

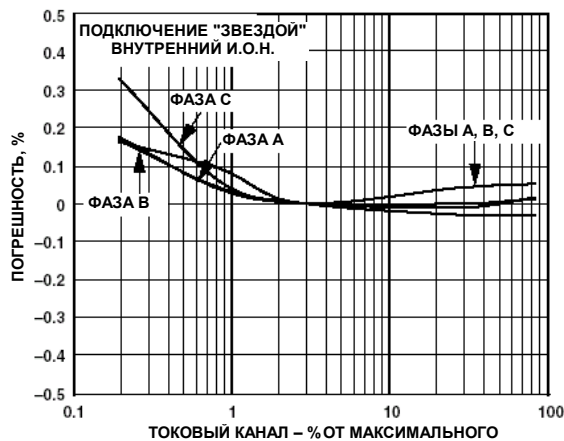


ОПИСАНИЕ НАЗНАЧЕНИЯ ВЫВОДОВ

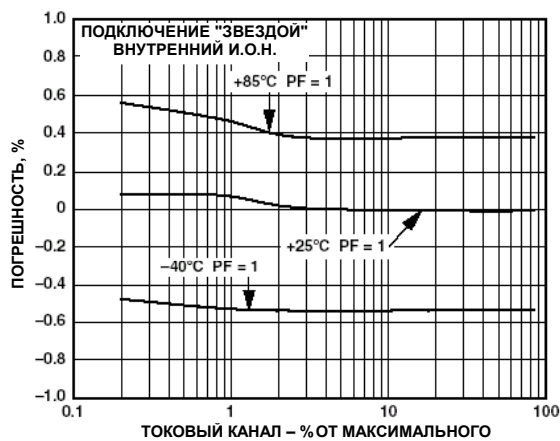
Номер вывода	Обозначение	Описание
1	CF	Выход сигнала калибровки. Выдает в виде частоты информацию о мгновенном значении активной мощности. Этот выход предназначен для использования в качестве калибровочного. Также см. описание вывода SCF.
2	DGND	Этот вывод обеспечивает заземление цифровых схем, входящих 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 _{DD}	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° . 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.
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 _{IN/OUT}	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	$\overline{\text{ABS}}$	С помощью данного логического входа можно задавать режим суммирования сигналов энергии трех фаз. Разработчик может включить режим арифметического суммирования трех значений энергии (на вход $\overline{\text{ABS}}$ подано напряжение высокого логического уровня) или режим суммирования абсолютных величин (на вход $\overline{\text{ABS}}$ подано напряжение высокого логического уровня). См. раздел "Режим суммирования трех значений энергии".
18	SCF	Выбор частоты калибровки. Этот логический вход используется для выбора частоты на выходе CF. В таблице IV показано, каким образом выбирается частота калибровки.

Номер вывода	Обозначение	Описание
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 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 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 <i>средней активной мощности</i> . Эти импульсные выходы могут быть использованы для прямого управления электромеханическими счетными механизмами или двухфазными шаговыми двигателями. См. раздел "Передаточная функция".

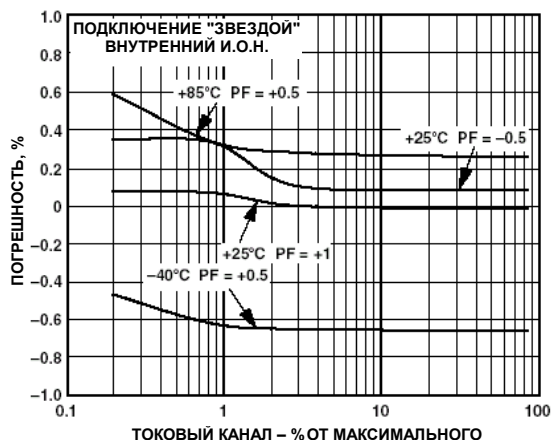
Типичные характеристики ADE7752



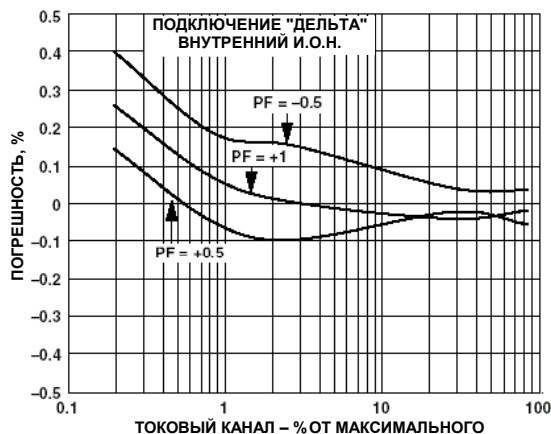
Тип. хар. 1. Погрешность в % при работе от внутреннего И.О.Н. (соединение звездой)



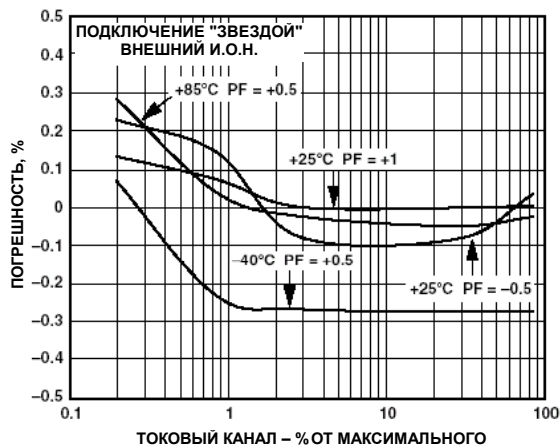
Тип. хар. 4. Погрешность в % при различной температуре, внутренний И.О.Н.



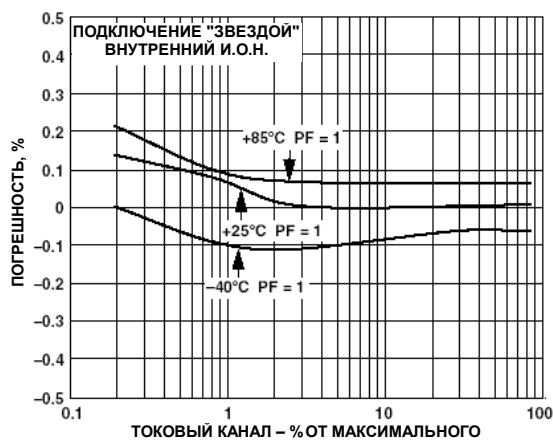
Тип. хар. 2. Погрешность в % при разных значениях коэффициента мощности



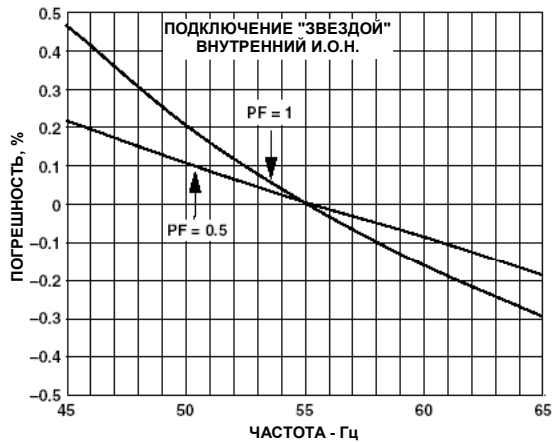
Тип. хар. 5. Погрешность в % при различных значениях коэффициента мощности, соединение треугольником



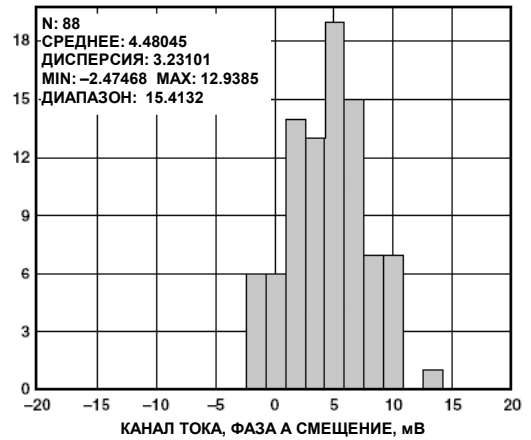
Тип. хар. 3. Погрешность в % при использовании внешнего И.О.Н.



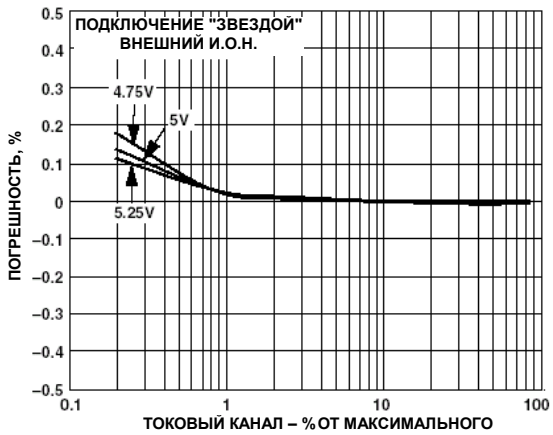
Тип. хар. 6. Погрешность в % при различной температуре, внешний И.О.Н., соединение звездой



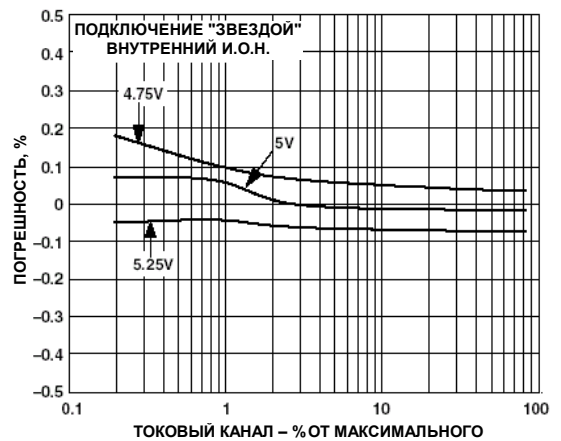
Тип. хар. 7. Погрешность в % в зависимости от частоты, соединение звездой



Тип. хар. 9. Разброс значения напряжения смещения в канале 1



Тип. хар. 8. Погрешность в % при различных значениях напряжения питания, внешний И.О.Н., соединение звездой



Тип. хар. 10. Погрешность в % при различных значениях напряжения питания, внутренний И.О.Н., соединение звездой

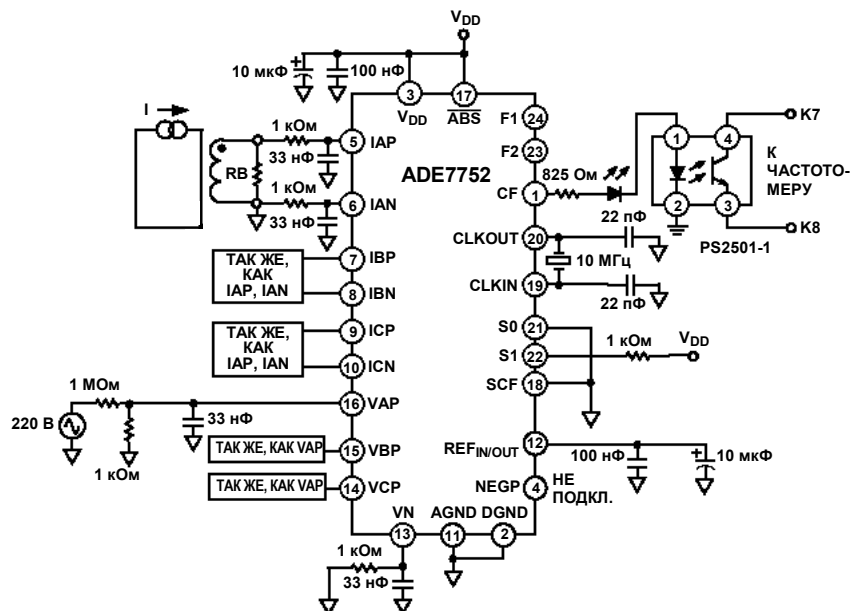


Схема 1. Тестовая схема, с помощью которой снимались приведенные характеристики

ADE7752

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАБОТЫ ИС ADE7752

Шесть сигналов от преобразователей напряжения и тока с помощью АЦП преобразуются в цифровую форму. Эти АЦП представляют собой 16-разрядные дельта-сигма АЦП второго порядка с частотой передискретизации 833 кГц. Такая структура аналоговых входов значительно упрощает интерфейс с преобразователем за счет обеспечения широкого динамического диапазона, достаточного для прямого подключения к преобразователю, а также упрощает устройство антиалайзингового фильтра. Фильтр высокой частоты в токовом канале устраняет составляющую постоянного тока из токового сигнала. Этим исключается всякая погрешность при подсчете активной мощности, связанная с наличием постоянного смещения в сигналах напряжения или тока (см. разделы "Фильтр высокой частоты" и "Эффекты смещения").

Значение активной мощности вычисляется из сигнала мгновенной мощности. Сигнал мгновенной мощности вычисляется прямым перемножением сигналов тока и напряжения каждой фазы. Для того чтобы получить сигнал активной мощности (т.е. постоянную составляющую сигнала мгновенной мощности) сигнал мгновенной мощности пропускается через низкочастотный фильтр. На рис. 2 изображена форма сигнала мгновенной мощности и показано, каким образом информация об активной мощности может быть получена путем низкочастотной фильтрации сигнала мгновенной мощности. Данный метод используется для получения информации об активной мощности в каждой фазе многофазной системы. Общая активная мощность, таким образом, вычисляется путем сложения значений активной мощности всех трех фаз. Эта схема позволяет корректно вычислять активную мощность при формах тока и напряжения несинусоидальной формы и при любых коэффициентах

мощности (PF). Вся обработка сигналов осуществляется в цифровом виде для получения максимальной температурной и временной стабильности.

Низкочастотный выходной сигнал ИС ADE7752 генерируется в соответствии с накопленной информацией о действительной мощности. Низкая частота импульсов в сущности означает большое время накопления между выходными импульсами. Таким образом, выходная частота пропорциональна средней активной мощности. Информация о средней активной мощности может быть, в свою очередь, подсчитана (например, электромеханическим счетчиком) для получения данных о количестве потребленной электроэнергии. Сигнал на выходе CF имеет высокую частоту и короткое время интеграции, поэтому частота сигнала на выходе CF пропорциональна мгновенному значению активной мощности. Этот выход используется для калибровки, которая должна производиться при определенных, неизменных условиях нагрузки.

Аспекты, связанные с коэффициентом мощности
Методика, используемая для извлечения информации об активной мощности из сигнала мгновенной мощности (т.е. низкочастотная фильтрация) остается эффективной, даже когда сигналы тока и напряжения не совпадают по фазе. На рис. 3 показаны формы сигналов при единичном коэффициенте мощности и при коэффициенте мощности (PF, Power Factor) $\cos \varphi = 0,5$, то есть в условиях, когда токовый сигнал отстает от напряжения на 60° . Предположим, что формы сигналов напряжения и тока синусоидальны, тогда действительная составляющая мощности мгновенного сигнала мощности (т.е. постоянная составляющая) будет равна:

$$\frac{V \cdot I}{2} \cdot \cos(60^\circ)$$

Эта формула корректна при подсчете активной мощности.

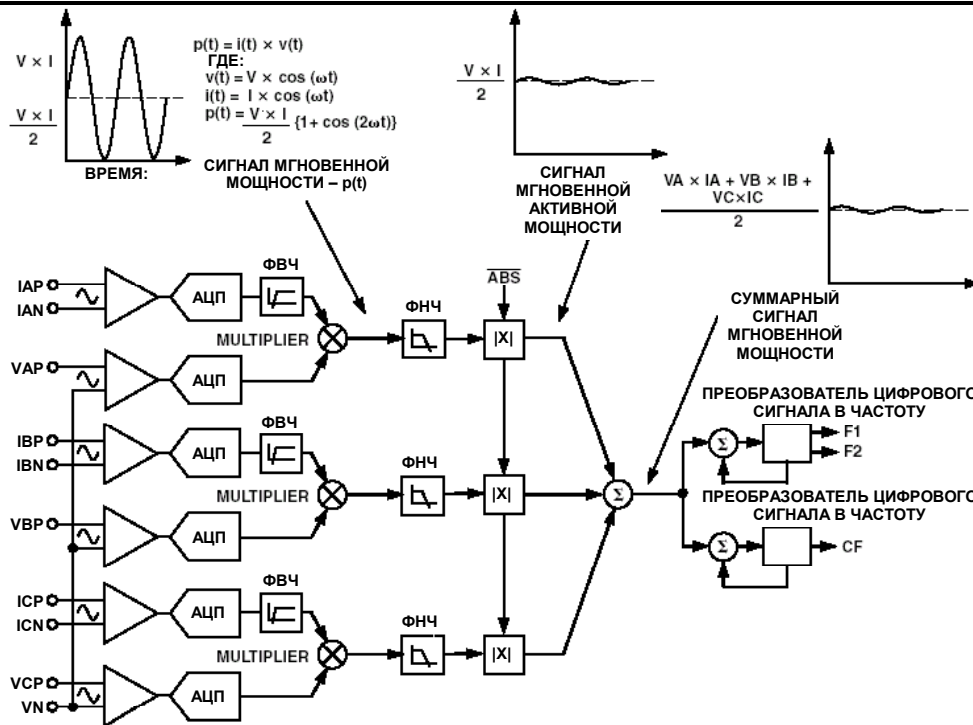


Рис. 2. Структурная схема процесса обработки сигналов в ИС ADE7752

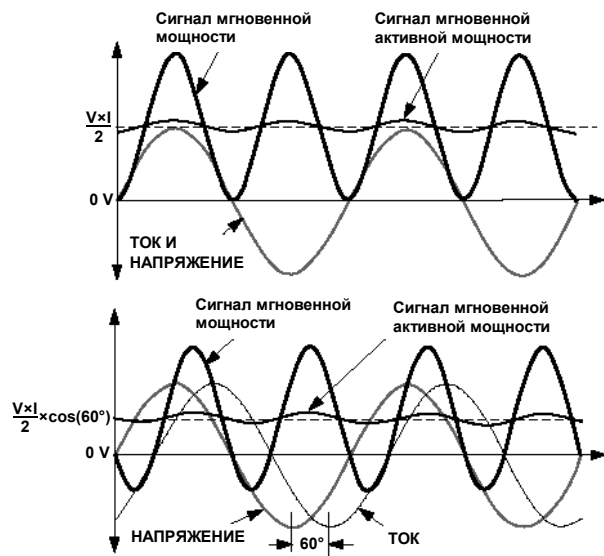


Рис. 3. Постоянная составляющая сигнала мгновенной мощности содержит информацию об активной мощности.

Несинусоидальные напряжение и ток

Рассматриваемый подход к вычислению активной мощности остается в силе, если формы сигналов напряжения и тока несинусоидальны. Все сигналы напряжения и тока на практике имеют некоторые гармонические составляющие. При помощи преобразования Фурье сигналы мгновенных значений напряжения и тока можно выразить в виде суммы гармонических составляющих:

$$v(t) = V_0 + \sqrt{2} \cdot \sum_{h \neq 0}^{\infty} V_h \cdot \sin(h\omega t + \alpha h) \quad (1)$$

где:
 $v(t)$ – мгновенное значение напряжения
 V_0 – среднее значение напряжения
 V_h – среднеквадратичное значение гармоники номер h
 αh – значение фазы гармоники номер h

$$i(t) = I_0 + \sqrt{2} \cdot \sum_{h \neq 0}^{\infty} I_h \cdot \sin(h\omega t + \beta h) \quad (2)$$

где:
 $i(t)$ – мгновенное значение тока
 I_0 – среднее значение тока
 I_h – среднеквадратичное значение гармоники номер h
 βh – значение фазы гармоники номер h

С использованием уравнений 1 и 2, значение активной мощности может быть вычислено как сумма активной мощности основной частоты и активной мощности гармоник

$$P = P_1 + P_H$$

где

$$P_1 = V_1 \times I_1 \cdot \cos \varphi_1 \quad (3)$$

$$\varphi_1 = \alpha_1 - \beta_1$$

ADE7752

$$P_H = \sum_{h \neq 1}^{\infty} V_h \times I_h \cos \phi_h \quad (4)$$

$$\phi_h = \alpha_h - \beta_h$$

Как видно из уравнения 4, гармоническая составляющая активной мощности определяется всеми гармониками, при условии, что гармоника представлена и в сигнале тока, и в сигнале напряжения. Ранее было показано, что вычисление коэффициента мощности происходит корректно в случае чистой синусоиды; следовательно, активная мощность несинусоидального сигнала должна вычисляться также корректно, с учетом коэффициента мощности, так как этот сигнал состоит из ряда чистых синусоид. Обратите внимание, что ширина полосы входного сигнала составляет 14 кГц при частоте тактового сигнала 10 МГц.

АНАЛОГОВЫЕ ВХОДЫ

Токвые каналы

Выходные сигналы напряжения с преобразователей тока подаются на входы токовых каналов ИС ADE7752, представляющие собой полностью дифференциальные входы. Входы IAP, IBP и ICP – положительные, а входы IAN, IBN и ICN – соответствующие им отрицательные (инвертирующие).

Максимальный пиковый дифференциальный сигнал на входе токового канала не должен превышать ±500 мВ (соответствует среднеквадратичному значению 353 мВ для чисто синусоидального сигнала), при этом будут обеспечены параметры, соответствующие техническому описанию.

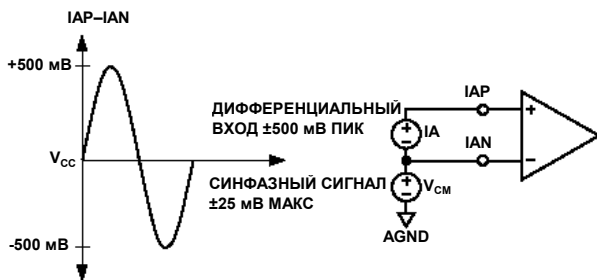


Рис. 4. Максимальные уровни сигнала токового канала

График на рис. 4 показывает максимальные уровни сигнала на входах IAP и IAN. Максимально допустимое дифференциальное напряжение между IAP и IAN составляет ±500 мВ. Дифференциальный сигнал на входах должен подаваться относительно AGND. Максимально допустимый синфазный сигнал составляет ±25 мВ, как показано на рис. 4.

Каналы напряжения

Аналоговые входы каналов напряжения микросхемы ADE7752 используется для подачи сигнала от преобразователя напряжения сети. Каналы напряжения

имеют псевдодифференциальные входы напряжения. Входы VAP, VBP и VCP являются положительными входами относительно общего отрицательного входа VN.

Максимальный пиковый дифференциальный сигнал на входе канала напряжения не должен превышать ±500 мВ (соответствует среднеквадратичному значению 353 мВ для чисто синусоидального сигнала) для обеспечения нормальной работы ИС ADE7752.

График на рис. 5 показывает максимально допустимые уровни сигнала на входе канала напряжения ИС ADE7752.

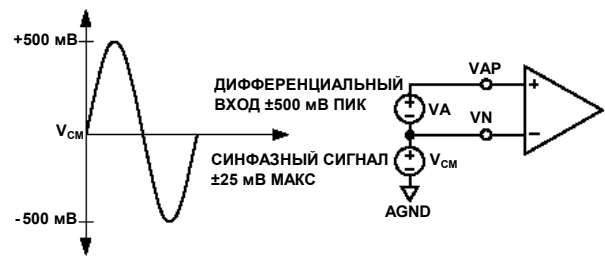


Рис. 5. Максимальные уровни сигнала, канал напряжения

На вход канала напряжения дифференциальный сигнал напряжения должен подаваться относительно земли (обычно AGND). Синфазный сигнал на входе канала V2 может достигать 25 мВ относительно AGND. Однако, наилучшего результата можно достичь, если синфазный сигнал на входе равен нулю.

ТИПИЧНАЯ СХЕМА ВКЛЮЧЕНИЯ

Подключение токовых каналов

На рис. 6 показана типичная схема подключения одного токового канала (IA). В этом примере в качестве преобразователя тока применен трансформатор тока (СТ). Обратите внимание, что синфазное напряжение на входе канала V1 равно напряжению AGND и оно достигается путем подключения к земле средней точки двух шунтирующих резисторов Rb. Это обеспечивает противофазный аналоговый сигнал на IAP и IAN. Соотношение числа витков трансформатора тока (СТ) и номиналы шунтирующих резисторов Rb выбраны такими, чтобы получить максимальное дифференциальное напряжение ±500 мВ при максимальной нагрузке.

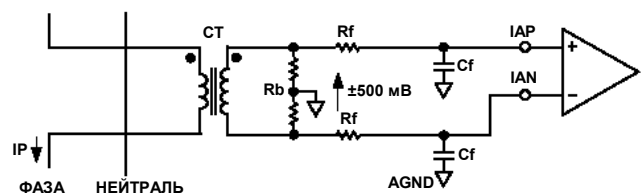


Рис. 6. Типичная схема включения канала V1

Подключение каналов напряжения

На рис. 7 показаны две типичных схемы подключения канала напряжения. В первом варианте используется трансформатор напряжения (РТ), благодаря чему достигается полная гальваническая развязка от сети. Во втором варианте ИС ADE7752 соединена с нейтральным проводом, и резистивный делитель обеспечивает сигнал напряжения, который пропорционален напряжению сети. Подбор соотношения Ra, Rb и VR – это также удобный путь для того, чтобы выполнить калибровку счетчика.

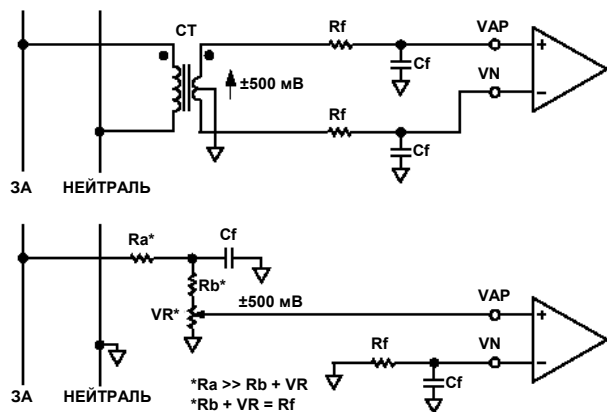


Рис. 7. Типичные схемы подключения каналов напряжения

Подключение счетчика

Трехфазные сети бывают двух основных видов: трехфазная четырехпроводная и трехфазная трехпроводная. Дополнительный провод в четырехпроводной сети служит в качестве нейтрали. Напряжение в трех фазовых линиях имеет относительных сдвиг фазы ±120° (±2π/3 радиан). См. уравнения 5.

$$V_A(t) = \sqrt{2} \times V_A \times \cos(\omega_1 t)$$

$$V_B(t) = \sqrt{2} \times V_B \times \cos\left(\omega_1 t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$V_C(t) = \sqrt{2} \times V_C \times \cos\left(\omega_1 t + \frac{4\pi}{3}\right)$$

Здесь V_A , V_B и V_C представляют собой средне-квадратичные значения напряжений в трех фазовых линиях.

Токи в линиях описываются уравнениями (6).

$$I_A(t) = \sqrt{2} I_A \times \cos(\omega_1 t + \phi_A)$$

$$I_B(t) = \sqrt{2} I_B \times \cos\left(\omega_1 t + \frac{2\pi}{3} + \phi_B\right)$$

$$I_C(t) = \sqrt{2} I_C \times \cos\left(\omega_1 t + \frac{4\pi}{3} + \phi_C\right)$$

Здесь I_A , I_B и I_C представляют собой средне-квадратичные значения токов в каждой фазе, и ϕ_A , ϕ_B и

ϕ_C – значения сдвига фаз между током и напряжением в каждом канале.

Тогда мгновенная мощность может быть подсчитана следующим образом:

$$P_A(t) = V_A(t) \times I_A(t)$$

$$P_B(t) = V_B(t) \times I_B(t)$$

$$P_C(t) = V_C(t) \times I_C(t)$$

Тогда:

$$P_A(t) = V_A \times I_A \times \cos(\phi_A) - V_A \times I_A \times \cos(2\omega_1 t + \phi_A)$$

$$P_B(t) = V_B \times I_B \times \cos(\phi_B) - V_B \times I_B \times \cos\left(2\omega_1 t + \frac{4\pi}{3} + \phi_B\right)$$

$$P_C(t) = V_C \times I_C \times \cos(\phi_C) - V_C \times I_C \times \cos\left(2\omega_1 t + \frac{8\pi}{3} + \phi_C\right)$$

Как следует из уравнений (7), в ИС ADE7752 подсчет активной мощности в каждой фазе можно осуществить при подаче сигнала тока и напряжения каждой фазы на вход соответствующего канала (А, В или С). Тогда суммирование значений активной мощности всех каналов даст в результате значение общей потребляемой мощности: $P(t) = P_A(t) + P_B(t) + P_C(t)$.

На рис. 8 показана схема подключения аналоговых входов ИС ADE7752 к линиям трехфазной трехпроводной сети с конфигурацией "дельта".

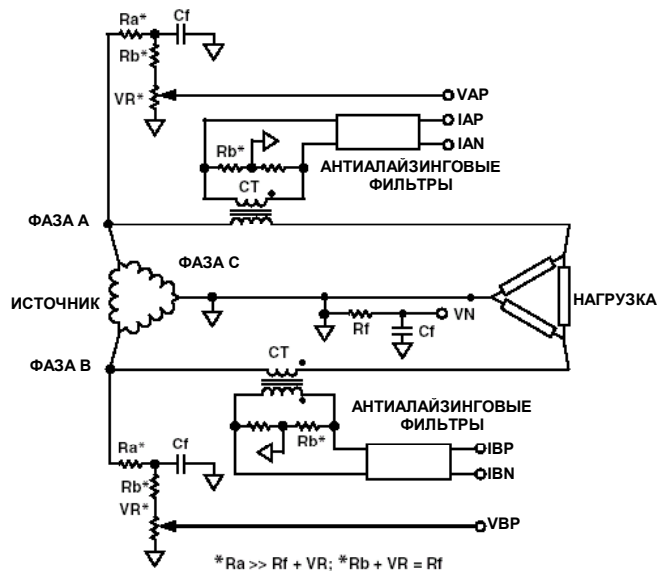


Рис. 8. Подключение ИС ADE7752 к трехфазной трехпроводной сети

Обратите внимание, что в данном случае используются только два входа сигнала тока и два входа сигнала напряжения ИС ADE7752. Значение подсчитанной активной мощности не зависит от того, какие каналы выбраны.

На рис. 9 показана схема подключения аналоговых входов ИС ADE7752 к линиям трехфазной четырехпроводной сети с конфигурацией "звезда".

ADE7752

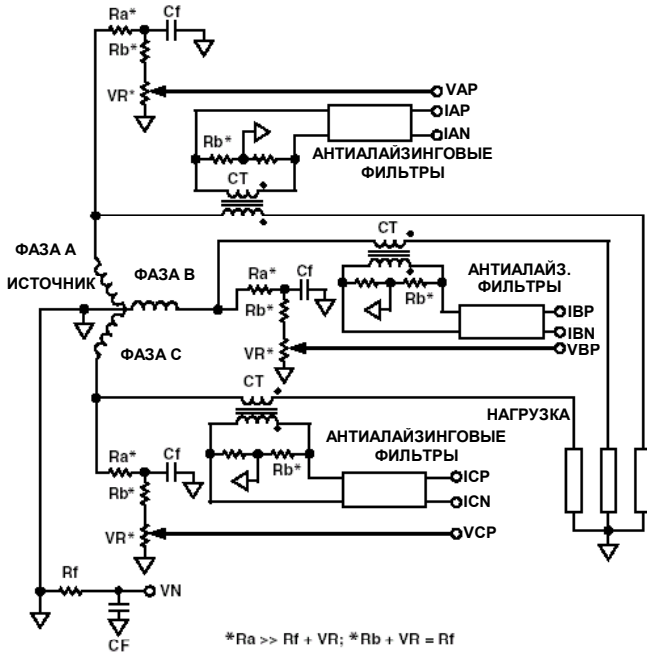


Рис. 9. Подключение ИС АDE7752 к трехфазной четырехпроводной сети

СХЕМА КОНТРОЛЯ НАПЯЖЕНИЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Микросхема АDE7752 содержит встроенную схему контроля (монитор) напряжения источника питания. ИС АDE7752 постоянно отслеживает напряжение питания V_{DD} . Если напряжение питания падает ниже $4\text{ В} \pm 5\%$, выходы микросхемы АDE7752 переходят в неактивное состояние. Это необходимо, чтобы гарантировать корректный запуск прибора при включении и выключении питания. Схема контроля напряжения источника питания обладает гистерезисом и фильтрующими свойствами. Это обеспечивает низкую вероятность ложного срабатывания при работе с источником питания, имеющим шумы.

На рис. 10 уровень срабатывания равен 4 В. Разброс этого уровня составляет около $\pm 5\%$. Источник питания и развязка для этого прибора должны быть такими, чтобы пульсации на V_{DD} не выходили за пределы $5\text{ В} \pm 5\%$, что необходимо для нормальной работы.

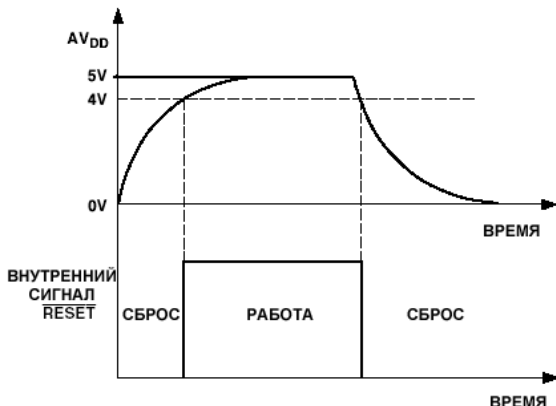


Рис. 8. Работа встроенной схемы контроля напряжения источника питания

Фильтр высокой частоты и влияние смещения.

Рис. 11 иллюстрирует эффект влияния напряжения смещения на результат подсчета активной мощности. Как видно из рисунка, наличие напряжения смещение в каналах тока и напряжения приведет к тому, что в результате перемножения сигналов появится постоянная составляющая. Так как постоянная составляющая выделяется фильтром низкой частоты, и она используется для подсчета сигнала мощности в каждой фазе, смещение будет вносить постоянную погрешность в результат подсчета энергии. Данная проблема легко устраняется с помощью фильтра высокой частоты в токовом канале. После удаления постоянной составляющей хотя бы из одного канала, компонент погрешности, обусловленный влиянием постоянного смещения, исчезнет после перемножения сигналов. Погрешность вида $\cos(\omega t)$ устраняется с помощью фильтра низкой частоты, а также во время преобразования цифрового сигнала в частоту. См. раздел "Преобразование цифрового сигнала в частоту".

$$\{V \cos(\omega t) + V_{OS}\} \times \{I \cos(\omega t) + I_{OS}\} =$$

$$\frac{V \times I}{2} + V_{OS} \times I_{OS} + V_{OS} \times I \cos(\omega t) + I_{OS} \times V \cos(\omega t)$$

$$+ \frac{V \times I}{2} \times \cos(2\omega t)$$

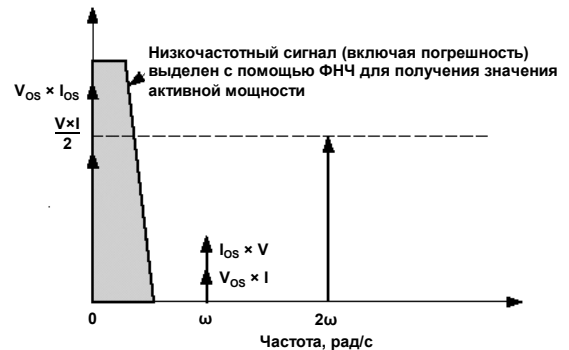


Рис. 11. Влияние напряжения смещения на результат подсчета активной мощности

Высокочастотный фильтр в канале тока вносит в сигнал фазовый сдвиг, который компенсируется в микросхеме. На рисунках 12 и 13 показана погрешность сдвига фаз между каналами с учетом работы схемы компенсации. В ИС АDE7752 компенсация фазы действует до частоты 1 кГц, как видно из рисунка. Она обеспечивает корректное вычисление активной мощности гармоник даже при малых значениях коэффициента мощности.

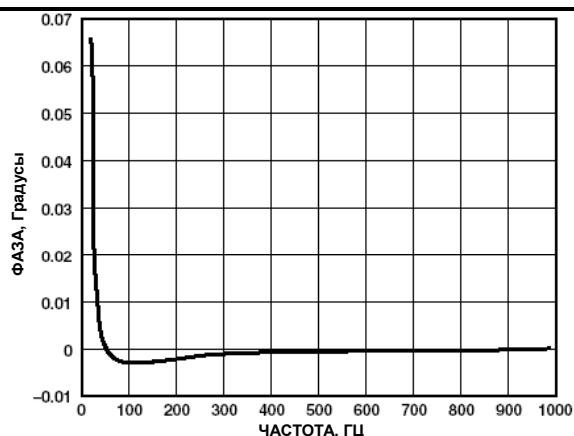


Рис. 12. Погрешность сдвига фазы между каналами (0 Гц – 1 кГц)

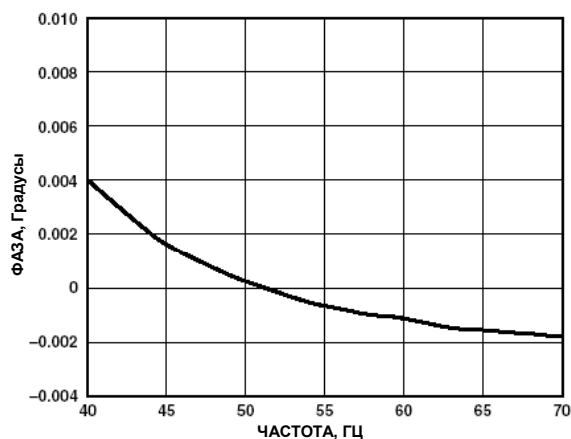


Рис. 13. Погрешность сдвига фазы между каналами (40 Гц – 70 Гц)

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА В ЧАСТОТУ

Как уже было сказано, на цифровом выходе низкочастотного фильтра после перемножения содержится информация об активной мощности по каждой фазе. Однако так как данный низкочастотный фильтр не обладает идеальной прямоугольной характеристикой, выходной сигнал также содержит подавленные составляющие на частоте сети и ее гармониках, т.е. $\cos(h\omega t)$, где $h=1, 2, 3$, и так далее. Амплитуда на выходе фильтра вычисляется с помощью уравнения

$$|H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (f/8)^2}} \quad (8)$$

Здесь 8 Гц – это частота среза фильтра низкой частоты по уровню -3 dB. При частоте сети 50 Гц коэффициент ослабления компоненты с частотой 2ω (100 Гц) составит приблизительно -22 dBs. Доминирующая гармоника будет иметь вид $\cos(2\omega t)$, т.е. она будет находиться на удвоенной частоте сети, т.к. такую частоту имеет сигнал мгновенной мощности. На рис. 14 показаны графики сигнала мгновенной активной

мощности на выходе фильтра низкой частоты; в этом сигнале по-прежнему содержится информация о мгновенной мощности, т.е. составляющая вида $\cos(2\omega t)$.

Данный сигнал затем поступает на преобразователь цифрового сигнала в частоту, где он интегрируется (накапливается) за какое-то время; таким образом определяется частота выходного сигнала. Этот процесс накопления сигнала обеспечивает подавление или усреднение всех переменных составляющих в сигнале мгновенного значения активной мощности. Усредненная величина синусоидального сигнала составляет ноль. Поэтому частота на выходе ИС ADE7752 будет пропорциональна среднему значению активной мощности. На рис. 14 проиллюстрирован процесс преобразования цифрового сигнала в частоту при постоянной нагрузке, т.е. при неизменном токе и напряжении.

Как видно из графика на рисунке, частота на выходе CF изменяется даже при неизменных условиях нагрузки. Это изменение частоты обусловлено прежде всего составляющей вида $\cos(2\omega t)$ сигнала мгновенной активной мощности. Выходная частота на выводе CF может быть в 160 раз выше, чем частота на выводах F1 и F2. Эта более высокая частота генерируется за счет того, что сигнал мгновенной активной мощности накапливается за более короткое время. Более короткий период накопления означает меньшее сглаживание составляющей вида $\cos(2\omega t)$. Как следствие этого, сигнал мгновенной мощности частично проходит через блок преобразования цифрового кода в частоту. Но это не приводит к каким-либо проблемам при работе устройства. Если выход CF используется для калировки, то частота усредняется в частотомере и любые пульсации устраняются. Если вывод CF используется для подсчета потребляемой энергии, например, когда ИС ADE7752 применяется совместно с микропроцессором, то при подсчете потребляемой энергии сигнал на выходе CF также должен быть усреднен. Так как на выходах F1 и F2 вырабатывается сигнал гораздо более низкой частоты, при этом осуществляется большее усреднение сигнала мгновенной мощности. В результате синусоидальная составляющая сигнала средней мощности сильно ослабляется и на выходах F1 и F2 периодических изменений частоты практически нет.

Выбор режима суммирования трех значений активной энергии

Микросхема ADE7752 может быть конфигурирована для работы в режиме алгебраического суммирования трех значений активной энергии, т.е. $Wh = Wh_{\phi A} + Wh_{\phi B} + Wh_{\phi C}$, или в режиме суммирования абсолютных величин, т.е. $Wh = |Wh_{\phi A}| + |Wh_{\phi B}| + |Wh_{\phi C}|$. Выбор между этими двумя режимами осуществляется подачей сигнала на вход \overline{ABS} . Высокий или низкий логические уровни на данном входе соответствуют алгебраическому суммированию и суммированию абсолютных величин.

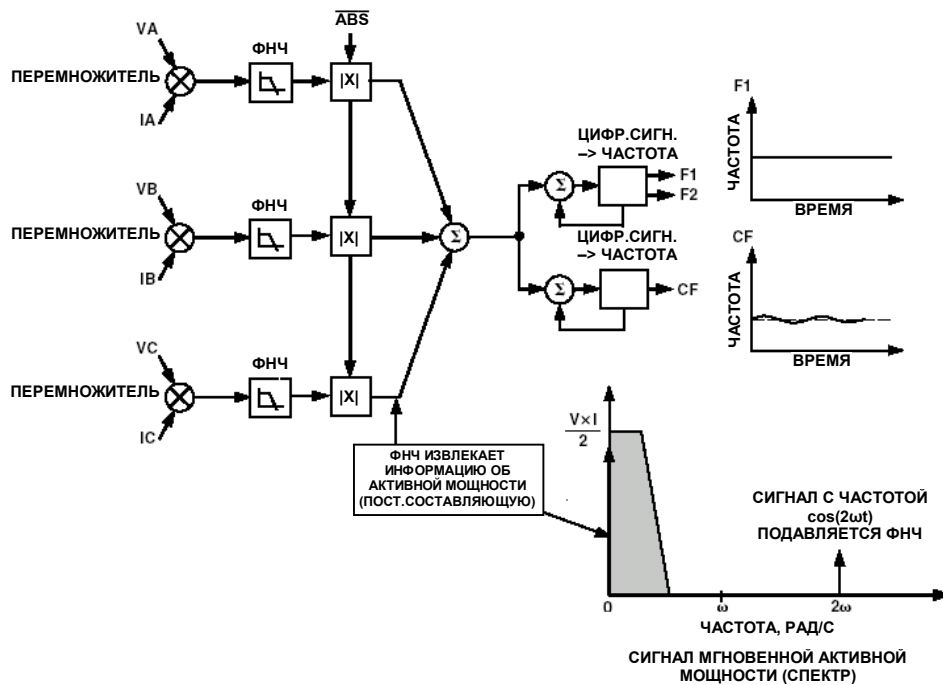


Рис. 14. Преобразование сигнала активной мощности в частоту

Если выбран режим суммирования абсолютных величин энергии, то значения величин активной энергии каждой фазы всегда суммируются с положительным знаком. Это особенно важно для трехфазной четырехпроводной сети, где знак величины мощности всегда должен быть одинаков. Если счетчик неправильно подключен к линиям сети, то есть токовый трансформатор СТ подключен с неправильной полярностью, то подсчитанное значение активной энергии может составлять 2/3 от реального, если не применить режим суммирования абсолютных величин. Данный режим позволяет быть уверенным, что подсчитанное значение активной энергии соответствует реально потребленному значению. В этом режиме выход NEGP по-прежнему работает корректно, обнаруживая наличие отрицательной мощности в любой из трех фаз.

Аспекты, связанные с измерением мощности

Подсчитанная и отображенная информация о потребленной энергии всегда будет иметь какие-то колебания, величина которых зависит от длительности запрограммированного в микроконтроллере периода интеграции. Например, при некоторой небольшой величине нагрузки, выходная частота составляет 10 Гц. Если период интеграции равен двум секундам, будет подсчитано всего около 20 импульсов. Всегда существует возможность пропустить один импульс, так как сигнал на выходе ИС ADE7752 не синхронизирован с таймером микроконтроллера. Это приведет к ошибке в одну двадцатую (или 5%) при измерении мощности.

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ

Частотные выходы F1 и F2

ИС ADE7752 вычисляет сумму произведения трех пар сигналов (сигнала тока и сигнала напряжения) и затем подвергает результат произведения низкочастотной фильтрации, чтобы получить информацию об активной мощности. Затем эта информация преобразуется в частоту. Информация выдается на выходы F1 и F2 в виде импульсов с активным уровнем высоким. Частота импульсов на этих выходах относительно низкая, например, она составляет 32,91 Гц максимум для сигналов переменного тока при установленных входах SCF = 1, S0 = S1 = 1 (см. таблицу III). Это означает, что частота импульсов на этом выходе определяется значением активной мощности, усредненным за довольно длительный период времени. В результате мы получаем импульсы, частота которых пропорциональна среднему значению активной мощности. Усреднение сигнала активной мощности происходит автоматически в процессе преобразования цифрового сигнала в частоту. Частота импульсов на выходе зависит от входного напряжения сигналов следующим образом:

$$Частота = \frac{5,922 \cdot (V_{AN} \cdot I_A + V_{BN} \cdot I_B + V_{CN} \cdot I_C) \cdot F_{1-7}}{V_{и.о.н.}^2}$$

где:

Частота = частота на выходах F1 и F2 (Гц)

V_{AN}, V_{BN} и V_{CN} = среднеквадратичные значения сигналов на дифференциальных входах каналов напряжения (В)

I_A, I_B и I_C = среднеквадратичные значения сигналов на дифференциальных входах каналов тока (В)

$V_{и.о.н.}$ = опорное напряжение (2,4 В ± 8%) (В)

F_{1-7} = одна из семи возможных частот, выбираемая при помощи логических сигналов на входах SCF, S0 и S1 — см. таблицу II

Табл. II. Установка частоты с помощью входов S0 и S1

SCF	S1	S0	F_{1-7} , Гц
0	0	0	1,27
1	0	0	1,19
0	0	1	5,09
1	0	1	4,77
0	1	0	19,07
1	1	0	19,07
0	1	1	76,29
1	1	1	0,60

*Частота F_{1-7} является частным от деления частоты кварцевого резонатора, поэтому она будет различной при различных значениях частоты CLKIN.

Пример 1

Таким образом, если на входы VA, VB, VC, IA, IB и IC подано постоянное дифференциальное напряжение +500 мВ, соответствующее полной шкале (500 мВ – это максимальное дифференциальное напряжение, которое может быть подано на входы каналов тока или напряжения), то частота сигнала на выходе вычисляется следующим образом:

$$F_{1-7} = 0,60 \text{ Гц}, \text{ SCF} = \text{S0} = \text{S1} = 1$$

$$V_{AN} = V_{BN} = V_{CN} = I_A = I_B = I_C =$$

$$= 500 \text{ мВ пост. тока} = 0,5 \text{ В}$$

$$V_{и.о.н.} = 2,4 \text{ В (номинальное значение)}$$

Обратите внимание, что когда используется встроенный источник опорного напряжения, частота сигнала на выходе счетчика может различаться у разных экземпляров микросхемы в соответствии с допуском величины опорного напряжения ±8%.

$$\text{Частота} = 3 \cdot \frac{5,922 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,6}{2,4^2} = 0,462 \text{ Гц}$$

Пример 2

В этом примере на входы каналов напряжения и тока приложено переменное напряжение с амплитудным значением ±500 мВ. Тогда ожидаемая частота на выходе вычисляется так:

$$F_{1-7} = 0,60 \text{ Гц}, \text{ SCF} = \text{S0} = \text{S1} = 1$$

$$V_{AN} = V_{BN} = V_{CN} = I_A = I_B = I_C =$$

$$= 500 \text{ мВ ампл.} = 0,5/\sqrt{2} \text{ В rms}$$

$$V_{и.о.н.} = 2,4 \text{ В (номинальное значение)}$$

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ: Если используется встроенный источник опорного напряжения, действительная частота на выходе может различаться у разных экземпляров микросхемы в соответствии с допуском величины опорного напряжения ±8%.

$$\text{Частота} = 3 \cdot \frac{5,922 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,60}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot 2,4^2} = 0,23 \text{ Гц}$$

Как можно убедиться на этих двух примерах, максимальная частота на выходе в случае измерения

мощности переменного тока всегда в два раза ниже, чем при измерении мощности постоянного тока.

Максимальная частота также зависит от числа линий фаз, подключенных к ИС ADE7752. В трехфазной трехпроводной сети с конфигурацией "дельта" максимальная выходная частота будет отличаться от максимальной выходной частоты в трехфазной четырехпроводной сети с конфигурацией "звездой". Причина этого в том, что в конфигурации "дельта" только две фазы подключаются к счетчику, а также в самой сети с конфигурацией "дельта", где сигнал тока и сигнал напряжения на входе одного канала не совпадают по фазе при нормальной работе.

Пример 3

В этом примере ИС ADE7752 подключена к трехфазной трехпроводной сети с конфигурацией "дельта", как показано на рис. 8. Суммарное значение энергии, подсчитанное счетчиком ADE7752, равно

$$\text{Сумм. актив. энергия} = (V_A - V_C) \cdot I_A + (V_B - V_C) \cdot I_B$$

Где V_A , V_B и V_C представляют собой значения напряжения фаз A, B и C соответственно. I_A и I_B представляют собой токи в фазах A и B соответственно. Так как напряжение и ток описываются уравнениями 5 и 6, суммарная активная мощность будет равна

$$P = (V_A - V_C) \cdot (I_{AP} - I_{AN}) + (V_B - V_C) \cdot (I_{BP} - I_{BN})$$

$$P = \left(\sqrt{2} \times V_A \times \cos(\omega t) - \sqrt{2} \times V_C \times \cos\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) \right) \times \sqrt{2} \times I_A \times \cos(\omega t)$$

$$+ \left(\sqrt{2} \times V_B \times \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) - \sqrt{2} \times V_C \times \cos\left(\omega t + \frac{4\pi}{3}\right) \right) \times \sqrt{2} \times I_B \times \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$

Для упрощения предположим, что $\phi_A = \phi_B = \phi_C = 0$ и $V_A = V_B = V_C = V$. Тогда приведенное уравнение запишется как

$$P = 2 \times V \times I_A \times \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \times \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \times \cos(\omega t)$$

$$+ 2 \times V \times I_B \times \sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \times \sin(\omega t + \pi) \times \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \quad (9)$$

И далее:

$$P = VAN \times I_A \times \left(\sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) + \sin\left(2\omega t + \frac{2\pi}{3}\right) \right) + VBN \times I_B \times \left(\sin\left(\frac{\pi}{3}\right) + \sin\left(2\omega t + \frac{\pi}{3}\right) \right) \quad (10)$$

где

$$VAN = V \times \sin(2\pi/3) \text{ и } VBN = V \times \sin(\pi/3)$$

Так как фильтр низкой частоты в каждом канале устраняет составляющую с частотой $2\omega_1$, активная энергия, подсчитанная ИС ADE7752, будет равна

ADE7752

$$P = V_{AN} \times I_A \times \frac{\sqrt{3}}{2} + V_{BN} \times I_B \times \frac{\sqrt{3}}{2}$$

Если на входы каналов тока и напряжения подан сигнал с амплитудным значением 500 мВ, ожидаемая частота на выходе микросхемы будет вычисляться следующим образом:

$$F_{1-7} = 0,60 \text{ Гц}, \text{ SCF} = S0 = S1 = 1$$

$$V_{AN} = V_{BN} = I_A = I_B = 500 \text{ мВ ампл.} = 0,5/\sqrt{2} \text{ В rms}$$

$$V_{CN} = I_C = 0$$

$$V_{и.о.н.} = 2,4 \text{ В (номинальное значение)}$$

ОБРАТИТЕ ВНИМАНИЕ: Если используется встроенный источник опорного напряжения, действительная частота на выходе может различаться у разных экземпляров микросхемы в соответствии с допуском величины опорного напряжения $\pm 8\%$.

$$\text{Частота} = 2 \cdot \frac{5,922 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,60}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} \cdot 2,4^2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = 0,134 \text{ Гц}$$

В таблице III показан полный список всех возможных максимальных частот на выходе в зависимости от комбинации управляющих сигналов.

Табл. III. Макс. значения частоты на выходах F1 и F2

SCF	S1	S0	Максимальное значение частоты для переменного тока, Гц	Максимальное значение частоты для постоянного тока, Гц
0	0	0	0,49	0,98
1	0	0	0,46	0,91
0	0	1	1,95	3,91
1	0	1	1,83	3,67
0	1	0	7,33	14,66
1	1	0	7,33	14,66
0	1	1	29,32	58,65
1	1	1	0,23	0,46

Частотный выход CF

Импульсный выход CF (Calibration Frequency) предназначен для использования в целях калибровки. Частота импульсов на выходе CF может быть в 160 раз выше, чем частота импульсов на выходах F1 и F2. Чем ниже выбранная частота F_{1-7} , тем больше множитель, определяющий соотношение частот на выходе CF и F1, F2. В таблице IV показано, каким образом соотносятся частоты в зависимости от сигналов, установленных на входах S0, S1, и SCF. Благодаря тому, что частота импульсов на выходе CF достаточно высока, эта частота несет информацию о мгновенной активной мощности. Точно так же, как и для выходов F1 и F2, частота на выходе CF определяется значением сигнала на выходе низкочастотного фильтра после перемножителя. Однако за счет того, что выходная частота велика, информация об активной мощности накапливается в течение более короткого промежутка времени. Следовательно, сигнал подвергается меньшей степени усреднения во время преобразования цифрового сигнала в частоту. При гораздо меньшем времени усреднения сигнала активной

мощности, сигнал на выходе CF быстрее реагирует на колебания мощности (см. рис. 2, структурная схема устройства).

Табл. IV. Макс. значения частоты на выходах F1 и F2

SCF	S1	S0	F_{1-7} (Гц)	Макс. частота на выходе CF для сигнала переменного тока, Гц
0	0	0	1,27	160 x F1, F2 = 78.19
1	0	0	1,19	8 x F1, F2 = 3.66
0	0	1	5,09	160 x F1, F2 = 312.77
1	0	1	4,77	16 x F1, F2 = 29.32
0	1	0	19,07	16 x F1, F2 = 117.3
1	1	0	19,07	8 x F1, F2 = 58.65
0	1	1	76,29	8 x F1, F2 = 234.59
1	1	1	0,60	16 x F1, F2 = 3.67

ВЫБОР ЧАСТОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СЧЕТЧИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Как показано в таблице II, проектировщик может выбрать одну из семи частот. Этот выбор определяет максимальную частоту на выходах F1 и F2. Эти выходы предназначены для управления счетным механизмом (электромеханическим или каким-либо другим). Так как есть возможность выбирать только из семи различных значений выходной частоты, доступный выбор частот оптимизирован для трехфазной четырехпроводной сети, постоянной счетчика, равной 100 импульсам/кВт·ч при максимальном токе в пределах от 10 А до 100 А. В таблице V приведены значения выходных частот для нескольких величин максимального тока (I_{MAX}) при напряжении сети 220 В (между фазой и нейтралью). Во всех случаях постоянная счетчика равна 100 импульсам/кВт·ч.

Табл. V. Частоты на выходах F1 и F2 при постоянной счётчика 100 имп./кВт·ч

I_{MAX} (А)	F1 и F2 (Гц)
10	0,10
25	0,25
40	0,40
60	0,60
80	0,80
100	1,00

Возможность выбора частоты F_{1-7} позволяет обеспечить полное перекрытие всего диапазона частот на выходах F1 и F2. При разработке счетчика электроэнергии номинальное напряжение на входах каналов напряжения должно быть установлено равным половине максимального напряжения (середина шкалы), чтобы обеспечить возможность калибровки постоянной счетчика. На входе канала измерения тока также должно быть напряжение, не превышающее

половины шкалы, когда счетчик показывает максимальную нагрузку. Это обеспечит возможность устройству работать с запасом по максимальному току, а также работать с сигналами с большим пик-фактором (с большим отношением амплитудного значения к среднеквадратическому). В таблице VI показаны значения частот на выходах F1 и F2 при условии, что на все шесть аналоговых входов поданы напряжения, равные половине максимального.

Табл. VI. Частоты на выходах F1 и F2 при нагрузке, равной половине от максимальной

SCF	S1	S0	F ₁₋₇ , Гц	Частоты на выходах F1 и F2 при половинной нагрузке
0	0	0	1,27	0,24
1	0	0	1,19	0,23
0	0	1	5,09	0,98
1	0	1	4,77	0,92
0	1	0	19,07	3,67
1	1	0	19,07	3,67
0	1	1	76,29	14,66
1	1	1	0,60	0,11

При выборе подходящей частоты F₁₋₇ в процессе разработки счетчика, при токе I_{MAX} (максимальная нагрузка) и для постоянной счетчика, равной 100 импульсам/кВт·ч, выходную частоту необходимо сравнить со значениями, приведенными в пятом столбце таблицы VI. По ближайшей частоте в таблице VI определяется оптимальная частота (F₁₋₇). Например, необходимо разработать счетчик для трехфазной четырехпроводной сети с конфигурацией "звезда" и максимальным током 25 А; частота на выходах F1 и F2 при постоянной счетчика, равной 100 импульсам/кВт·ч будет составлять 0,25 Гц при токе 25 А и напряжении сети 220 В (из таблицы V). Затем смотрим таблицу VI; ближайшая к 0,25 Гц частота в пятом столбце представлена значением 0,24 Гц. Таким образом, для данного счетчика выбираем значение F₁₋₇ = 1,27 Гц.

Частотные выходы

На рис. 1 показаны временные диаграммы для различных частотных выходов. Выходы F1 и F2 – это низкочастотные выходы, которые могут быть использованы для управления напрямую шаговым двигателем или электромеханическим счетчиком импульсов. На выходах F1 и F2 обеспечиваются двухфазные импульсы с активным высоким уровнем. Ширина импульсов (t₁) равна 275 мс, а время между спадами импульсов F1 и F2 (t₃) приблизительно равно половине периода F1 (t₂). Однако, если период F1 и F2 падает до величины ниже 550 мс (1,81 Гц), то ширина импульсов F1 и F2 становится равной половине этого периода. Максимальные частоты на выходах F1 и F2 приведены в таблице III.

Высокочастотный выход CF предназначен для связи с микроконтроллером и для калибровки. На выходе CF появляются импульсы с активным высоким уровнем длительностью 96 мс (t₄), с частотой, пропорциональной активной мощности. Значения частот на выходе CF приведены в таблице IV. Так же как и в случае с F1 и F2, если период CF (t₅) уменьшается до значения меньше 192 мс, ширина импульсов CF становится равной половине периода. Например, если частота на выходе CF равна 20 Гц, то ширина импульсов CF составляет 25 мс. Исключение из этого правила – режим, когда установлены сигналы S0 = 1, SCF = S1 = 0. В данном случае ширина импульсов CF составляет 66% от периода.

ПОРОГ ВЫКЛЮЧЕНИЯ ПО ОТСУТСТВИЮ НАГРУЗКИ

ИС ADE7752 обладает возможностью выключения счетчика, если величина нагрузки будет ниже определенного порога, благодаря чему исключается эффект "самохода" счетчика. Микросхема ADE7752 разработана так, чтобы обеспечивать минимальную выходную частоту. Любая нагрузка, которой соответствует частота на выходе меньшая, чем определенная минимальная, не вызывает появления импульсов на выходах F1, F2 и CF. Эта минимальная выходная частота составляет 0,005% от максимальной выходной частоты при соответствующем выбранном режиме F₁₋₇ или приблизительно 0,00204% от F₁₋₇. См. таблицу VII. Например, в счетчике электроэнергии с постоянной счетчика, равной 100 импульсам/кВт·ч, в режиме F₁₋₇ (4,77 Гц) минимальная выходная частота на выводах F1 и F2 будет равна 9,15·10⁻⁵ Гц. Это будет соответствовать частоте 1,46·10⁻³ Гц на выходе CF (16·F1 Гц). В этом примере порог отключения счетчика будет соответствовать нагрузке 3,3 Вт, или пороговому току 13,75 мА при напряжении 240 В.

Табл. VII. Минимальные частоты на выходах CF, F1 и F2 на уровне порога выключения

SCF	S1	S0	F1, F2 min, Гц	CF min, Гц
0	0	0	2,44·10 ⁻⁵	3,91·10 ⁻³
1	0	0	2,29·10 ⁻⁵	1,83·10 ⁻⁴
0	0	1	9,77·10 ⁻⁵	1,56·10 ⁻²
1	0	1	9,16·10 ⁻⁵	1,47·10 ⁻³
0	1	0	3,67·10 ⁻⁴	5,86·10 ⁻³
1	1	0	3,67·10 ⁻⁴	2,93·10 ⁻³
0	1	1	1,47·10 ⁻³	1,17·10 ⁻²
1	1	1	1,15·10 ⁻⁵	1,83·10 ⁻⁴

ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

ИС ADE7752 обнаруживает ситуацию, когда сдвиг фазы между сигналом тока и напряжения превышает 90°, т.е. φ_A, φ_B или φ_C > 90°. Данная функция позволяет обнаружить неправильное подключение счетчика или генерацию активной мощности со стороны нагрузки.

ADE7752

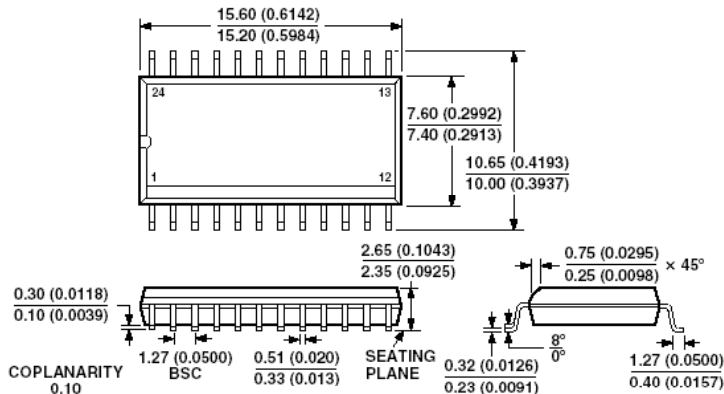
Выход NEGP переходит в активное состояние высокого логического уровня, если отрицательная мощность обнаруживается в любой из трех фаз. Если во всех трех фазах мощность положительна, на выходе NEGP выдается низкий логический уровень. Вывод NEGP меняет свое состояние одновременно с появлением импульса на выходе CF. Если в нескольких фазах обнаруживается отрицательная мощность, вывод NEGP остается в состоянии высокого уровня до тех пор, пока

во всех трех фазах мощность не станет положительной. Если мощность в одной из фаз падает ниже уровня, соответствующего порогу "самохода" (выключения по отсутствию нагрузки), детекция отрицательной мощности в этой фазе не работает. Детекция отрицательной мощности в данной линии опять начинает работать, как только мощность снова превышает порог "самохода". См раздел "Порог выключения по отсутствию нагрузки".

УСТАНОВОЧНЫЕ РАЗМЕРЫ

24-выводной стандартный широкий корпус SOIC (RW-24)

Размеры показаны в дюймах и (мм)



УДОВЛЕТВОРЯЕТ СТАНДАРТУ JEDEC MS-013AD
КОНТРОЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ ДАНЫ В МИЛЛИМЕТРАХ; РАЗМЕРЫ В ДЮЙМАХ
(В СКОБКАХ) ОКРУГЛЕНЫ, ДАНЫ ТОЛЬКО ДЛЯ СПРАВКИ И НЕ
ПРЕДНАЗНАЧЕНЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ