

ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ НОРМАЛЬНОГО ВИДА ИНТЕГРИРУЮЩИМИ АЦП

В. Н. МАЛИНОВСКИЙ, А. М. СУХОРИКОВ

Московский энергетический институт

Рассматриваются и сравниваются возможности различных методов обеспечения помехоустойчивости цифровых вольтметров постоянного тока. Представлены аналитические выражения частотных характеристик интегрирующих АЦП, реализующих различные весовые функции, графики частотных характеристик; приведены расчетные данные для коэффициентов подавления помех нормального вида для первой и второй гармоник помехи.

Помехоустойчивость является важной характеристикой средств измерения. Для многих моделей цифровых вольтметров эта характеристика является паспортной. Поэтому изучению вопросов повышения помехоустойчивости цифровых вольтметров в литературе уделяется большое внимание [1—6]. Однако в этих работах рассматриваются отдельные методы обеспечения помехоустойчивости цифровых вольтметров постоянного тока с частичным указанием вида весовой функции, частотной характеристики, ее аналитического выражения и коэффициента подавления помехи, но не приводится сравнение различных методов. В данной работе предпринята попытка в некоторой степени восполнить этот пробел.

Степень подавления помехи нормального вида в измерительном устройстве принято характеризовать коэффициентом подавления

$$K_{\text{ПНВ}} = 20 \lg \frac{U_{\text{с. вых}}/U_{\text{с. вх}}}{U_{\text{п}}/U_{\text{т}}}, \text{ дБ},$$

где $U_{\text{с. вх}}$ — напряжение полезного сигнала на входе устройства; $U_{\text{с. вых}}$ — напряжение полезного сигнала на выходе устройства; $U_{\text{т}}$ — амплитуда помехи на входе устройства; $U_{\text{п}}$ — величина помехи после подавления.

Для удобства анализа средств измерения измерительный прибор можно рассматривать как фильтр, который имеет определенную частотную характеристику. Эта характеристика дает наглядную картину поведения цепи при воздействии на ее вход сигнала с произвольным спектром частот.

При определении частотной характеристики используется метод интеграла Фурье

$$K(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(t) e^{-j\omega t} dt,$$

где $g(t)$ — весовая функция интегратора.

Родман Г.В.

*Толстопятко
Родман*

Синтез параметров

Интерес представляет модуль передаточной функции, т. е. частотная характеристика. Поскольку эта величина четная, в дальнейшем рассматривается только четная функция

$$K(\omega) = \int_{-T/2}^{T/2} g(t) \cos \omega t dt,$$

где T — номинальное значение периода помехи.

Результаты исследования сведены в таблицу, в которой для различных способов реализации весовых функций представлены виды весовых функций, соответствующие им частотные характеристики, их аналитические выражения и расчетные данные для минимальных (при наихудшей фазе помехи) коэффициентов подавления помехи нормального вида на основной и второй гармониках. Коэффициент подавления помехи нормального вида рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{пнв}} = 20 \lg \frac{K(0)}{|K(\omega)|}, \text{ дБ},$$

где $K(0)$ — коэффициент передачи полезного сигнала.

Расчеты проводились для помехи промышленной частоты $f_{\text{п}} = 50 \pm 0,5$ Гц (в соответствии с ГОСТом 12997—67 [4]) для методов 1, 3, 5, 6, 7, 8, 9, (таблица). Для методов 2, 4, при использовании которых осуществляется подстройка интервала интегрирования под период помехи и синхронизация с моментов перехода напряжения сети через нуль, коэффициент подавления помехи теоретически равен бесконечности. Реально этот коэффициент имеет конечное значение из-за наличия быстрых флюктуаций частоты сети [2], т. е.

$$\omega_{\text{п}} = \omega_0 + \zeta \tau \omega,$$

где ω_0 — номинальное значение частоты помехи; ζ — случайная величина с математическим ожиданием $M[\zeta] = 0$ и среднеквадратичным отклонением случайной величины $\sigma_{\zeta} = 1$; σ_{ω} — среднеквадратическое отклонение частоты помехи.

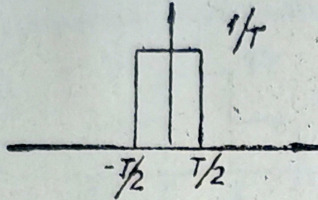
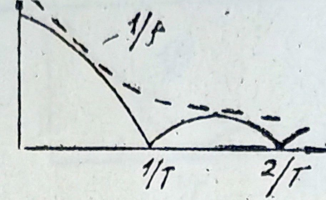
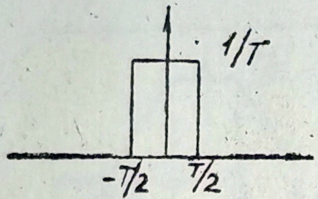
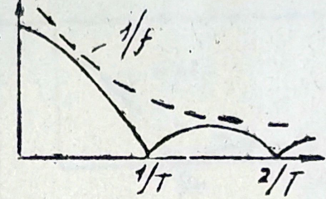
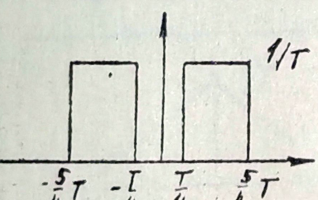
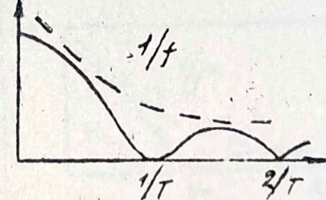
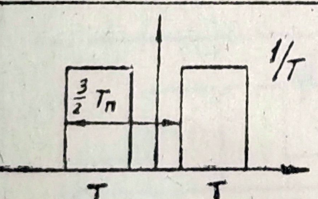
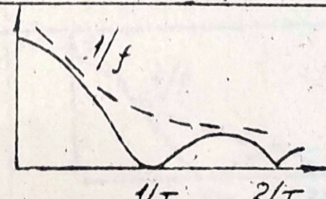
Исследование быстрых флюктуаций частоты сети [6], показало, что $\sigma_{\omega}/\omega_0 = 1,5 \cdot 10^{-4}$.

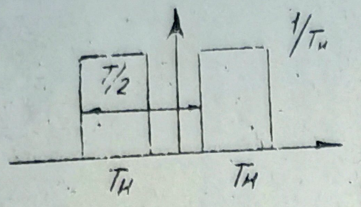
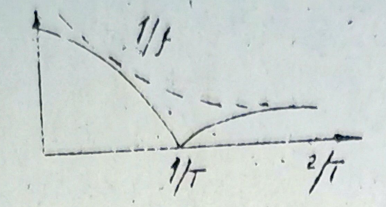
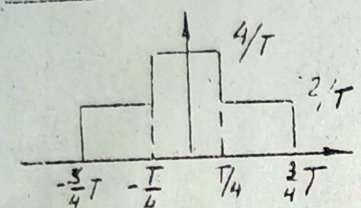
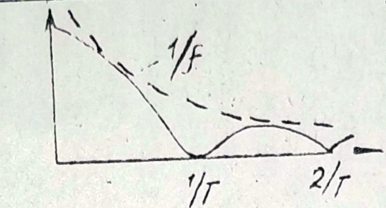
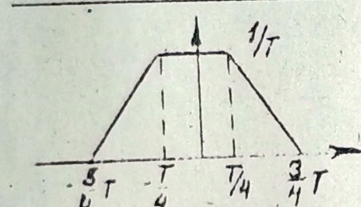
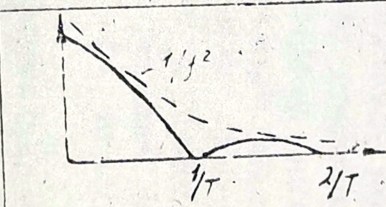
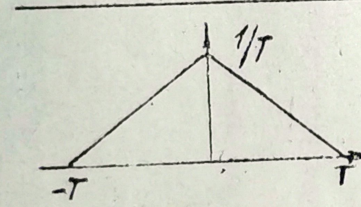
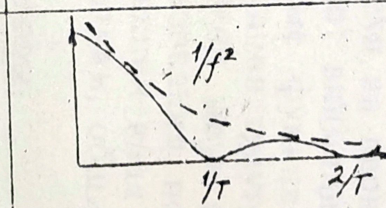
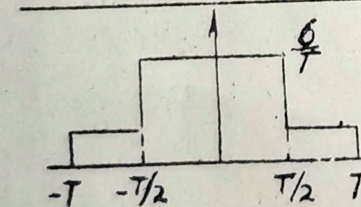
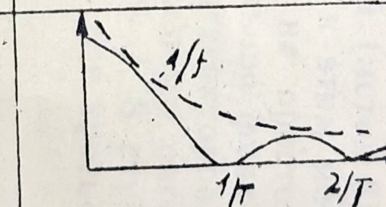
Анализ таблицы показывает, что среди известных методов аналого-цифрового преобразования сигналов можно выделить четыре группы методов, отличающихся видом весовой функции.

Для первой группы характерно интегрирование на одном интервале с постоянным весовым коэффициентом. Достаточно хорошее подавление помехи (метод 2) сочетается здесь с высоким быстродействием и простой реализации данного вида АЦП. При дальнейшем усовершенствовании метода авторам работ [4, 5] удалось получить $K_{\text{пнв}} = 100$ дБ при погрешности преобразования не хуже 0,01%.

Во второй группе интегрирование осуществляется на двух подынтервалах, сдвинутых относительно друг друга на нечетное количество полупериодов помехи. Усложнение устройства, реализующего данную весовую функцию, путем привязки начала интегрирования на каждом из подынтервалов к моменту перехода напряжения помехи через нуль выигрыша в помехоустойчивости не дает (методы 3, 4).

Таблица

Номер метода	Методы АЦП	Вид весовой функции $g(t)$	Вид частотной характеристики $ K(\omega) $	Частотная характеристика $ K(\omega) $	Коэффициент подавления помехи нормального вида $K_{пнв}$, дБ	
					$m=1$	$m=2$
1	2	3	4	5	6	7
1	Фиксированный интервал интегрирования, $T=20$ мс			$\frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2}$	40	40
2	С подстройкой к периоду помехи, $T=T_{п} \cong \cong 20$ мс			$\frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2}$	64	64
3	Два подынтервала без синхронизации, $T=20$ мс			$2 \left \frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2} \times \cos 3 \frac{\omega T}{4} \right $	60	34
4	Два подынтервала с синхронизацией от сети, $T=20$ мс			$2 \left \frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2} \times \cos 3 \frac{\omega T}{4} \right $	60	34

1	2	3	4	5	6	7
5	Два подынтервала без синхронизации $T_H=50$ мс, $T=20$ мс			$2 \left \frac{\sin \omega T_H/2}{\omega T_H/2} \times \cos \frac{\omega T}{4} \right $	31	-2
6	Ступенчатое интегрирование, $T=20$ мс			$4 \left \frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2} \cos \frac{\omega T}{4} \right $	64	28
7	Интегрирование по трапеции, $T=20$ мс			$\left \frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2} \frac{\sin \omega T/4}{\omega T/4} \right $	44	80
8	Интегрирование по треугольнику, $T=20$ мс			$\left(\frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2} \right)^2$	80	80
9	Ступенчатое интегрирование $T=20$ мс			$8 \left \frac{\sin \omega T/2}{\omega T/2} \times \cos^2 \frac{\omega T}{4} \right $	94	22

Подвальные помех нормального вида интегрирующими АЦП

Наличие «мертвой» зоны (методы 3, 4, 5) снижает разрешающую способность АЦП. Время интегрирования в этой группе весовых функций возрастает до 50 мс (методы 3, 4). Возможно уменьшение цикла измерения до 20 мс (метод 5), однако остальные характеристики АЦП, а именно: разрешающая способность, коэффициент подавления помехи нормального вида оставляют желать лучшего [5].

Третья группа характеризуется интегрированием по ступенчатой весовой функции (с несколькими градациями веса). Простота реализации данного типа весовой функции путем применения интегратора и коммутатора коэффициента передачи интегратора открывает широкие возможности для АЦП этих типов с точки зрения увеличения помехоустойчивости, хотя и в ущерб быстродействию.

Следует обратить внимание на невысокое подавление второй гармоники помехи (методы 6, 9).

В четвертой группе интегрирование производится по трапецидальному и треугольному законам (7, 8).

Высокое быстродействие и подавление помехи на первой (метод 8) и второй гармониках (методы 7, 8) привлекают внимание к этим методам, однако реализуются требуемые весовые функции не просто. Например, один из возможных методов реализации треугольной функции заключается в последовательном включении двух интеграторов, но при этом возрастает погрешность преобразования полезного сигнала. Попытка аппроксимировать весовые функции вида № 7, 8 ступенчатой весовой функцией приводит к недостаткам, общим для третьей группы рассмотренных методов.

В заключение можно сделать следующие выводы:

1. При построении АЦП высоких классов точности следует отдать предпочтение методам 2, 3, 4.
2. При большом уровне помех могут быть применены методы 6, 8, 9, при этом класс точности АЦП не может превышать 0,05.
3. Перспективными в отношении повышения помехоустойчивости следует считать методы 2, 8, 9.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швецкий Б. И., Виценчук И. М. Помехозащищенные цифровые вольтметры постоянного тока. Измерения, контроль, автоматизация, № 1 (3), 1975.
2. Малиновский В. Н. Основы теории и проектирования цифровых измерительных приборов с высокими метрологическими характеристиками: [Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук]. — Москва, 1976, с. 144.
3. Селибер А. Б. и др. Об одном принципе построения АЦП с адаптивным выбором времени интегрирования. — Контрольно-измерительная техника, 1977, № 22.
4. Селибер А. Б. и др. Анализ методов повышения помехоустойчивости интегрирующих АЦП в системах передачи информации. — Приборы и системы управления, 1977, № 2.
5. Змудиков В. Л., Михайлов Е. И. АЦП двухтактного интегрирования с повышенным быстродействием. — Приборы и системы управления, 1978, № 7.
6. Гальченко В. Д., Семенов В. Ф. Система подстройки частоты управляемого генератора импульсов интегрирующего вольтметра. Тр./Моск. энергетич. ин-т. Информационно-измерительная техника, вып. 154, М., 1972.