

АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗАТОР ГАРМОНИК

Б. А. СОЛОМИН, Е. И. ГОЛЬДШТЕЙН, В. Н. СТАНЕВКО

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры
приборов и устройств систем автоматики)

Задача исследования гармонического состава электрических сигналов в нелинейных цепях требует создания амплитудно-фазовых анализаторов гармоник (АФАГ). Для оценки гармонического состава указанных сигналов достаточно получить их коэффициенты разложения ряда Фурье. Определение указанных коэффициентов можно осуществить путем последовательного избирательного измерения отдельных гармоник в спектре исследуемого сигнала. Назовем для краткости этот путь решения поставленной задачи методом селективного анализа.

Общая структурная схема селективного анализатора гармоник приведена на рис. 1.

Здесь синусоидальный сигнал от источника опорного напряжения (ИОН), имеющий частоту f_0 и амплитуду U_0 , поступает одновременно на исследуемый четырехполюсник (ИЧ) и на генератор селективирующих сигналов (ГСС), обеспечивающий синусоидальное или прямоугольное напряжение с частотой $f = n \cdot f_0$ (n — номер исследуемой гармоники) и двумя строго определенными фазами (φ_n и φ'_n), удовлетворяющими условию

$$\varphi_n = \varphi'_n = \frac{\pi}{2} \quad \text{при} \quad f = f_n.$$

Сигналы с ГСС и ИЧ подаются на синхронный детектор (СД), обеспечивающий селективное измерение требуемой гармоники.

По полученным результатам измерения каждой гармонической составляющей (A_n, A'_n) n -й гармоники можно определить коэффициенты ряда Фурье для этой гармоники.

В схеме на рис. 1 наиболее важными (с конструктивной и метрологической точки зрения) являются элементы ГСС и СД, так как ИОН и ИЧ являются внешними элементами анализатора. Рассмотрим основные требования, предъявляемые к ГСС и СД.

ГСС должен обеспечивать получение селективирующих сигналов с частотой f , кратной f_0 , в спектре которых отсутствует составляющая с

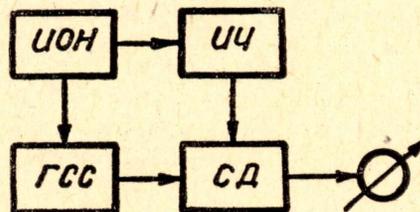


Рис. 1

частотой f_0 . Практически в селектирующем напряжении имеется некоторая величина напряжения первой гармоники. Это приводит к появлению некоторой ошибки измерения ΔA_{f_0} .

В работе [1] указано, что коэффициент выпрямления первой гармоники синхронным детектором при коммутации высшими гармониками равен $\frac{\sqrt{2}}{\pi} \cdot \cos \varphi$,

q — отношение напряжения первой гармоники к напряжению коммутации;

φ — фазовый сдвиг между первыми гармониками в измерительной и селектирующей цепях.

ГСС должен также обеспечивать высокую стабильность фазы (φ_n , φ'_n) селектирующих сигналов. СД должен обеспечивать минимальные собственные нелинейные искажения, иметь стабильный нуль и работать в вектор-мерном режиме.

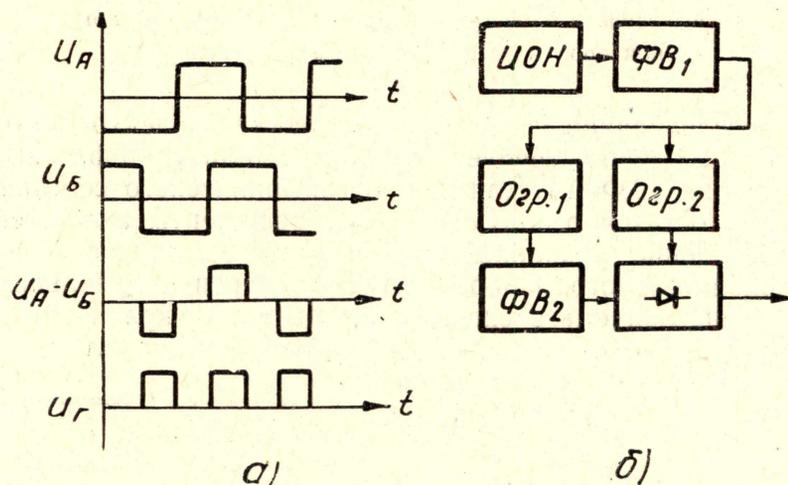


Рис. 2. 1 — источник опорного напряжения; 2 — фазовращатель $\pi/4$; 3 — фазовращатель $\pi/2$; 4, 5 — ограничители

В настоящее время известно большое количество схемных решений СД (например [2]), удовлетворяющих в значительной степени указанным требованиям. Более сложной является задача выбора ГСС.

Возможны три основных метода построения ГСС:

а) умножение f_0 на нелинейных элементах с последующим избирательным выделением гармоники f_n ;

б) синтез прямоугольного селектирующего сигнала f_n из ограниченного опорного напряжения f_0 ;

в) использование релаксационных импульсных умножителей частоты (краткое описание таких умножителей приведено в [3]).

Первый метод использован в анализаторе, рассмотренном в работе [1]. Главные недостатки этого метода заключаются в использовании громоздкой системы резонансных фильтров, что, с одной стороны, приводит к трудности расширения частотного диапазона анализатора, а с другой стороны, вызывает значительную фазовую погрешность даже при незначительном уходе частоты f_0 опорного источника.

Суть второго метода иллюстрирована эпюрами на рис. 2,а, где приведены напряжения в различных точках на примере формирователя селектирующего сигнала второй гармоники. Схема формирователя приведена на рис. 2,б.

Исключая постоянную составляющую в напряжении U_r , получим прямоугольный селектирующий сигнал второй гармоники, жестко связанный с фазой опорного напряжения. Аналогичный способ может применяться для получения и прочих гармоник селектирующего напряжения.

Очевидным преимуществом этого метода создания ГСС является возможность жесткой привязки начальной фазы к фазе опорного напряжения в диапазоне частот при приемлемой коммутации цепей формирования, а кроме того, малая фазовая погрешность при малом уходе частоты f_0 . Основными требованиями при построении таких ГСС являются обеспечение симметричности и равенства ограниченных сигналов (U_a, U_b), а также обеспечение заданных фазовых сдвигов с высокой точностью.

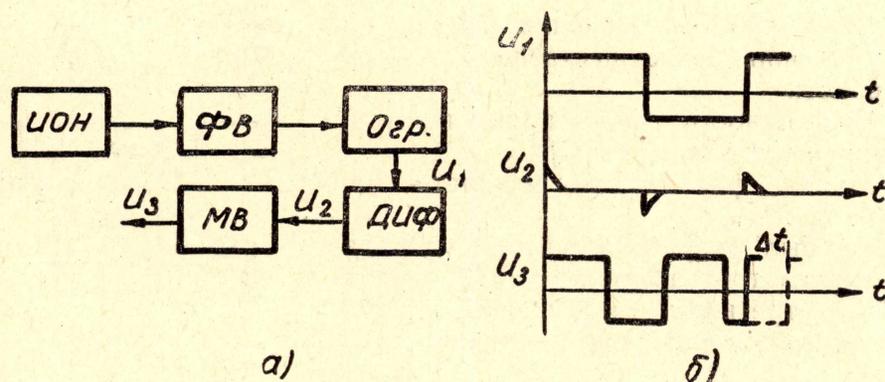


Рис. 3. 1 — источник опорного напряжения, 2 — фазовращатель $\pi/2$, 3 — ограничитель, 4 — дифференцирующая цепь, 5 — синхронизируемый мультивибратор

Для обеспечения этих требований необходима стабилизация амплитуды опорного напряжения и тщательная подгонка элементов системы. Кроме того, система приемлема только при низких номерах « U » исследуемых гармоник.

Блок-схема ГСС, работающего по третьему методу, приведена на рис. 3,а.

Синусоидальный сигнал опорного напряжения с заданным сдвигом фазы (φ_n или φ'_n) поступает на симметричный ограничитель. Прямоугольные импульсы на выходе ограничителя укорачиваются дифференцирующей цепочкой и поступают в качестве стабилизирующих на мультивибратор, работающий в автоколебательном режиме с частотой, близкой к частоте требуемой гармоники f_n . Под воздействием этих импульсов колебания мультивибратора привязываются к частоте гармоник f_n по фазе. Процесс синхронизации иллюстрируется эюрами на рис. 3,б. Здесь U_1 — напряжение на выходе ограничителя, U_2 — напряжение на выходе дифференцирующей цепи, а U_3 — напряжение на выходе мультивибратора.

Если собственная частота мультивибратора f_m меньше, чем частота гармоники f_n , т. е. $f_m < f_n$, то каждый n -й последовательный отрицательный или положительный импульс мультивибратора будет укорачиваться на величину Δt . Легко показать, что $\Delta t = n \left(\frac{1}{f_m} - \frac{1}{f_n} \right)$. Укорочение некоторых импульсов мультивибратора, нарушающее симметричность выходного напряжения, эквивалентно появлению в составе селек-

тирующего напряжения опорного напряжения основной частоты f_0 , которое может вызвать ошибку при измерении.

При использовании достаточно стабильного мультивибратора возможно устранение ошибки измерения, возникающей за счет медленного дрейфа частоты ИОН. В предлагаемой схеме устранение такой ошибки осуществляется путем подачи сигнала с выхода мультивибратора на измеритель симметричности. В случае несимметричности выходного напряжения оператор регулирует в небольших пределах частоту мультивибратора, добываясь минимальных показаний измерителя несимметричности.

Преимущества ГСС, выполненного по третьему методу, заключаются в следующем:

1. Возможность получения высоких номеров гармоник без существенного усложнения схемы.
2. Возможность работы анализатора при широком наборе частот f_0 .
3. Малая фазовая погрешность при уходе частоты f_0 .

Нами был разработан амплитудно-фазовый анализатор гармоник с ГСС, выполненный по третьему методу. Общая блок-схема этого анализатора приведена на рис. 4.

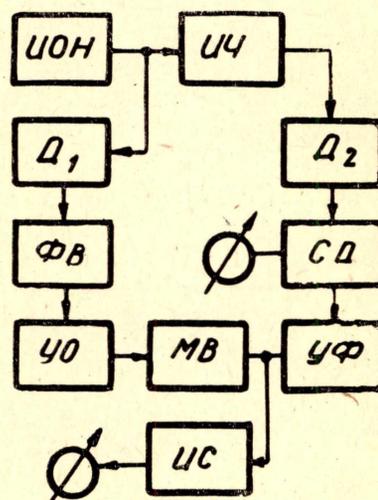


Рис. 4

ГСС в нашем анализаторе включает в себя ступенчатый делитель D_1 для обеспечения требуемого амплитудного диапазона опорного напряжения, калиброванный фазовращатель, обеспечивающий сдвиг фазы $\varphi'_n = \frac{\pi}{2}$, усилитель-ограничитель УО, синхронизируемый мультивибратор МВ, измеритель симметричности ИС и усилитель-формирователь УФ, необходимый для обеспечения развязки и получения требуемых параметров коммутирующего сигнала. Канал сигнала, помимо синхронного детектора СД, включает также калиброванный ступенчатый делитель D_2 .

Таблица 1

Коэффициенты ряда Фурье	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6
Расчетные значения коэффициентов	0	-0,212	0	-0,0421	0	0,0182	0,5	0	0	0	0	0
Значения коэффициентов, полученные по АФАГ	0	-0,2	0	-0,055	0	-0,04	0,5	0	0	0	0	0

Анализатор выполнен на транзисторах и работает при частоте опорного сигнала 50 и 400 Гц, обеспечивая измерение коэффициентов разложения первых шести гармоник опорной частоты. Амплитуда опорного напряжения и полезного сигнала может изменяться в диапазоне 0,25 в — 250 в. Синхронный детектор выполнен по схеме, описанной в работе [2].

Качество работы анализатора гармоник, достигнутое в настоящее время при частоте опорного напряжения в 50 Гц, иллюстрируется

табл. 1. В таблице помещены значения коэффициентов ряда Фурье с 1-й по 6-ю гармонику для кривой однополупериодного выпрямления синусоидального напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Ройтман, Э. И. Цимбалист, Н. П. Фефелов, В. Я. Супьян. Низкочастотный амплитудно-фазовый анализатор для исследования связей между характером спектра и твердостью ферромагнитн. материала. Изв. ТПИ, т. 141, стр. 163—165, 1966.

2. М. С. Ройтман. Простой синхронный детектор со стабильным нулем. Изв. ТПИ, т. 141, стр. 163—165, 1966.

3. В. Ф. Самойлов, В. Г. Маковеев. Импульсная техника. М., «Связь», 1964.
