

АМПЛИТУДНО-ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗАТОР ГАРМОНИК

Б. А. СОЛОМИН, Е. И. ГОЛЬДШТЕИН, 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

$$\varphi_n = \varphi_n' = \frac{\pi}{2} \bigg| \cap f = f_n.$$

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

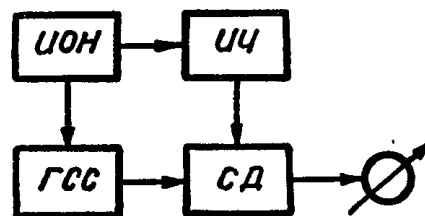


Рис. 1

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.

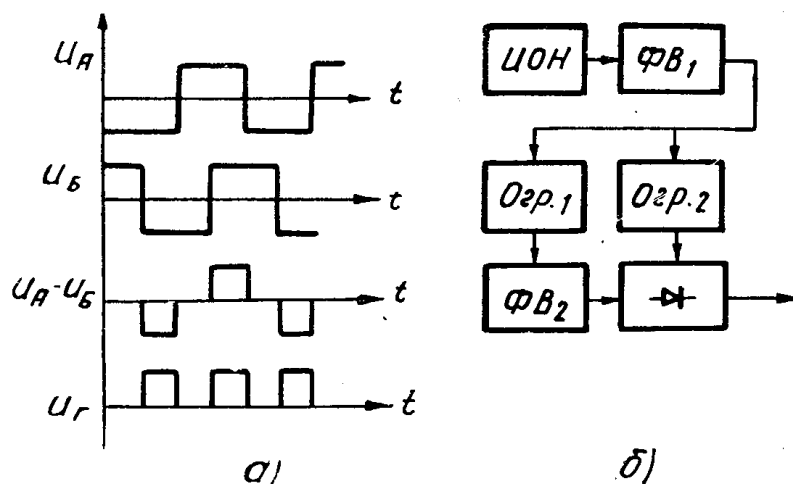


Рис. 2. 1 — источник опорного напряжения; 2 — фазовращатель $\pi/4$; 3 — фазовращатель $\pi/2$; 4, 5 — ограничители

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 эюрами 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_6), а также обеспечение заданных фазовых сдвигов с высокой точностью.

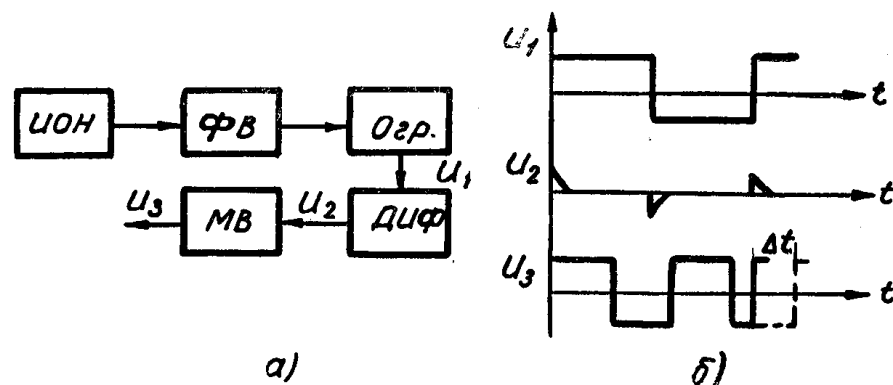


Рис. 3. 1 — источник опорного напряжения, 2 — фазовращатель $\pi/2$, 3 — ограничитель, 4 — дифференцирующая цепь, 5 — синхронизируемый мультивибратор

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-

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.
