

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ ВЗАИМНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ГРУППЫ АВТОГЕНЕРАТОРОВ МЕТОДОМ ЦИФРОВОГО ЧАСТОТНОГО СИНТЕЗА

О. И. Губернаторов, А. Н. Зеленин

Харьков

Большой интерес для систем связи представляют вопросы, связанные с синхронизацией группы автогенераторов. Практически находят применение два способа синхронизации — первый, когда частоту всем генераторам навязывает один (т. е. система синхронизации с опорным генератором), при втором способе происходит взаимная синхронизация между всеми имеющимися генераторами. Данная работа посвящена описанию группы взаимно синхронизированных автогенераторов методом цифрового частотного синтеза.

Рассмотрим сначала простейший случай — систему взаимной синхронизации двух автогенераторов.

Функциональная схема системы взаимной синхронизации двух автогенераторов методом цифрового частотного синтеза представлена на рис. 1. Схема работает следующим образом. Гармонические сигналы синхронизируемых генераторов СГ-1 и СГ-2 поступают на формирующие устройства (ФУ-1 и ФУ-2), которые преобразовывают непрерывные сигналы с частотой ω_1 и ω_2 в последовательности импульсов с такой же частотой следования. Делители Д-1 и Д-2 понижают частоту следования импульсов. Полученные на выходе делителей напряжения в виде последовательностей коротких импульсов с частотами соответственно $\frac{\omega_1}{K_1}$ и $\frac{\omega_2}{K_2}$, где K_1 и K_2 — коэффициенты деления делителей Д-1 и Д-2, поступают на входы фазового детектора (ФД).

В системах цифрового частотного синтеза широкое распространение получили ФД, собранные по триггерной схеме (триггер с отдельным запуском). На вход 1 триггера поступает последовательность импульсов, полученная преобразованием гармонического сигнала генератора СГ-1, а на вход 2 — последовательность импульсов, полученная преобразованием гармонического сигнала генератора СГ-2.

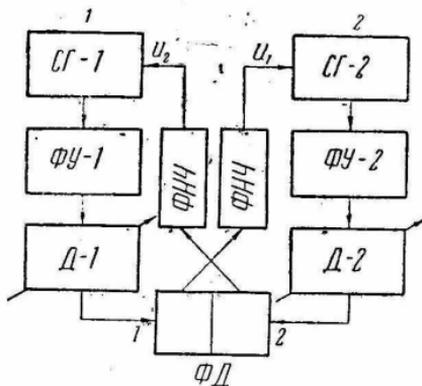


Рис. 1.

Если частоты последовательностей на входах триггера равны, на выходах ФД появятся импульсы с такой же частотой следования. Длительность выходных импульсов зависит от величины фазового сдвига импульсов в 1 и 2 каналах.

Если частоты следования импульсов на входах ФД не равны

$$\frac{\omega_1}{K_1} \neq \frac{\omega_2}{K_2},$$

то на выходах ФД (триггера) появятся последовательности широко модулированных импульсов.

Постоянные составляющие U_1 и U_2 напряжений на выходах ФД выделяются соответствующими фильтрами нижних частот (ФНЧ) и используются для воздействия на управляющие элементы (варикапы) синхронизируемых генераторов.

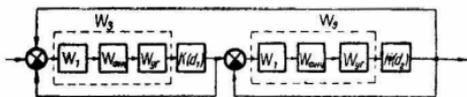


Рис. 2.

Изменение величин емкостей варикапов приводит к изменению частот сигналов синхронизируемых генераторов, переводя систему в режим удержания, при котором

$$\frac{\omega_1}{K_1} = \frac{\omega_2}{K_2}. \quad (1)$$

Функциональные блоки, входящие в систему, являются типичными для схем цифрового частотного синтеза и уже достаточно хорошо описаны в работе [1].

Анализ функциональной схемы взаимной синхронизации двух автогенераторов методом цифрового синтеза показывает, что последняя является замкнутой системой автоматического регулирования, работающей по принципу отклонения, т. е. управление производится измерением отклонения между сигналами на входах ФД.

Для математического описания системы составим структурную схему (рис. 2).

Согласно [1], передаточная функция фазового детектора:

$$W_1 = \frac{K_{ФД}}{p} \quad (2)$$

при $K_{ФД} = \frac{A}{2\pi}$, где A — амплитуда импульсов на выходе ФД; передаточная функция фильтра низких частот

$$W_{ф. н. ч.} (p) = \frac{K e^{-p\tau}}{(T_1 p + 1) (T_2^2 p^2 + 2\zeta T_2 p + 1)}, \quad (3)$$

где K — коэффициент передачи фильтра на постоянном токе;
 τ — время чистого запаздывания;
 T_1 — постоянная времени инерционного звена;
 T_2 — постоянная времени колебательного звена;
 ξ — относительный коэффициент затухания колебательного звена.

Передаточная функция управляемого синхронизируемого генератора

$$W_{с.г}(p) = \frac{\omega_{с.г}(p)}{U_{упр}(p)} = K_{с.г}; \quad (4)$$

передаточная функция делителей частоты

$$W_{д-1}(p; \alpha_1) = K(\alpha_1), \quad W_{д-2}(p; \alpha_2) = K(\alpha_2), \quad (5)$$

где α_1 и α_2 — командные сигналы управления K_1 и K_2 .

Формирующее устройство не изменяет ни частоты, ни фазы сигнала, поэтому его передаточная функция равна единице.

Согласно правилам преобразования структурных схем [2], передаточную функцию системы взаимной синхронизации двух автогенераторов методом цифрового частотного синтеза (полагая идентичность СГ-1 и СГ-2, ФНЧ-1 и ФНЧ-2) можно записать так:

$$W_2(p) = \frac{K(\alpha_1) K(\alpha_2) W_3^2}{1 + [K(\alpha_1) + K(\alpha_2)] W_3}, \quad (6)$$

где

$$W_3 = W_1(p) W_{ф.н.ч.}(p) W_{с.г}(p),$$

или в развернутой форме

$$W_2(p) = \frac{K_0^2 K(\alpha_1) K(\alpha_2) e^{-2p\tau}}{[p(T_1 p + 1)(T_2^2 p^2 + 2\xi T_2 p + 1)]^2 + [K(\alpha_1) + K(\alpha_2)] K_0^2 K(\alpha_1) K(\alpha_2) e^{-2p\tau}} \quad (7)$$

$$(K_0 = K K_{фд} K_{с.г}).$$

Выражения (6) и (7) представляют собой математическое описание системы взаимной синхронизации двух автогенераторов методом цифрового частотного синтеза.

Аналогично рассуждая, получим аналитическое выражение, описывающее систему взаимной синхронизации трех автогенераторов, изображенную на рис. 3:

$$W_3(p) = \frac{K(\alpha_1) K(\alpha_2) K(\alpha_3) W_3^3}{1 + W_3 [K(\alpha_1) + K(\alpha_2) + K(\alpha_3)] + W_3^2 [K(\alpha_1) K(\alpha_2) + K(\alpha_1) K(\alpha_3) + K(\alpha_2) K(\alpha_3)]} \quad (8)$$

Коэффициент в знаменателе при W_3^2 представляет собой не что иное, как сумму сочетательных произведений из $K(\alpha_i)$ по два. Тогда (8) запишется в виде

$$W_3(p) = \frac{W_3^3 \prod_{i=1}^3 K(\alpha_i)}{1 + W_3 \sum_{i=1}^3 K(\alpha_i) + W_3^2 \sum_{i=1}^3 C_{k(\alpha_i)}^2} \quad (9)$$

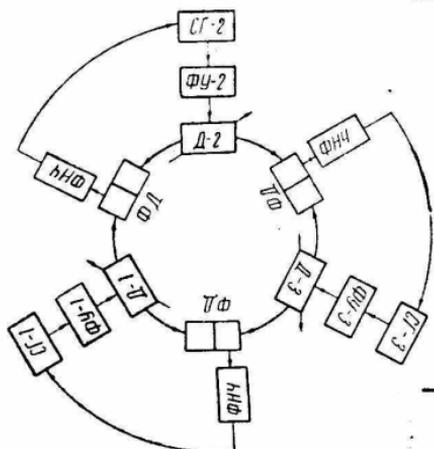


Рис. 3.

Принципиальных изменений в структуре системы взаимной синхронизации группы автогенераторов методом цифрового частотного синтеза при увеличении числа генераторов не происходит (рис. 4), поэтому

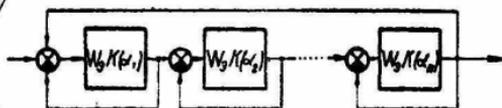


Рис. 4.

запишем общее выражение для случая взаимной синхронизации группы из n генераторов

$$W_n(p) = \frac{W_n^n \prod_{i=1}^n K(\alpha_i)}{1 + W_n \sum_{i=1}^n K(\alpha_i) + W_n^2 \sum_{i=1}^n C_{k(\alpha_i)}^2 \dots t W_n^{n-1} \sum_{i=1}^n C_{k(\alpha_i)}^{n-1}} \quad (10)$$

Полученное выражение описывает систему в режиме удержания (синхронный режим), когда динамические уравнения элементов схемы могут быть заменены уравнениями статики.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Губернаторов и др. Математическое описание цифрового синтезатора частот. Сб. «Радиотехника», вып. 11. Изд-во ХГУ, Харьков, 1969.
2. Д. В. Васильев, В. Г. Чуи н. Системы автоматического управления. Изд-во «Высшая школа», 1967.