

РАДИОТЕХНИКА И РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА

К ВОПРОСУ О ВЗАИМНОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДВУХ АВТОГЕНЕРАТОРОВ МЕТОДОМ ЦИФРОВОГО ЧАСТОТНОГО СИНТЕЗА

О. И. Губернаторов, Е. Л. Демьянкова, А. Н. Зеленин

Харьков

Для получения систем взаимной синхронизации автогенераторов широкое распространение получили индуктивная, емкостная и кондуктивная связи. В случае применения этих видов связи синхронизация генераторов на некротных частотах очень затруднительна, а подчас и невозможна. Помимо этого в системах взаимной синхронизации с такими видами взаимосвязи возникают большие трудности при изменении частот синхронизации. Применение метода цифрового частотного синтеза [1] для взаимной синхронизации автогенераторов позволяет устранить эти трудности.

Данная статья описывает систему взаимной синхронизации двух автогенераторов методом цифрового частотного синтеза (ЦЧС), функциональная схема которой приведена на рис. 1.

В работе [1] было указано, что система взаимной синхронизации группы автогенераторов методом цифрового частотного синтеза представляет систему автоматического регулирования, работающую по принципу измерения отклонений сигналов на входах сравнивающего устройства (СУ). Из этого следует вывод, что вся информация о частотно-фазовых рассогласованиях взаимно синхронизируемых генераторов СГ-1 и СГ-2 заключена в сигналах на входах СУ. Поэтому целесообразно

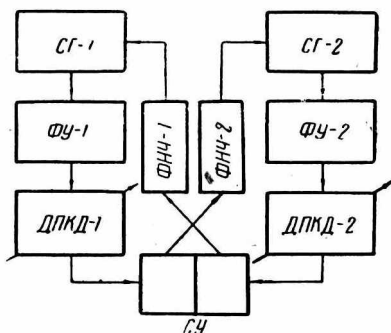


Рис. 1.

рассматривать взаимную синхронизацию не конкретных генераторов СГ-1 и СГ-2 с произвольным (в общем случае) соотношением частот ω_1 и ω_2 , а взаимную синхронизацию некоторых эквивалентных генераторов (ЭГ), взаимосвязанных на одной частоте, причем сигналы ЭГ — это сигналы СГ-1 и СГ-2, приведенные ко входам СУ. В этом случае схема взаимной синхронизации двух автогенераторов методом ЦЧС (рис. 1) может быть приведена к эквивалентной схеме, изображенной на рис. 2.

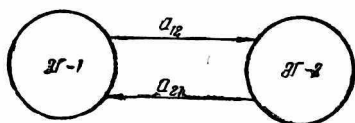


Рис. 2.

Уравнения синхронизации такой системы запишутся следующим образом:

$$\frac{\omega_1}{K_1} = \frac{\omega_{01}}{K_1} + a_{21} \frac{S_1}{K_1} F \left\{ \sin \int \left(\frac{\omega_2}{K_2} - \frac{\omega_1}{K_1} \right) dt \right\}; \quad (1)$$

$$\frac{\omega_2}{K_2} = \frac{\omega_{02}}{K_2} + a_{12} \frac{S_2}{K_2} F \left\{ \sin \int \left(\frac{\omega_1}{K_1} - \frac{\omega_2}{K_2} \right) dt \right\}; \quad (2)$$

где ω_{01} , ω_{02} — парциальные частоты СГ-1 и СГ-2;

ω_1 , ω_2 — текущие значения частот СГ-1 и СГ-2;

K_1 , K_2 — коэффициенты делителей частоты с переменным коэффициентом деления (ДПКД) в первом и втором каналах соответственно;

S_1 , S_2 — крутизна электронной перестройки частот СГ-1 и СГ-2;

a_{12} — коэффициент влияния первого генератора на второй;

a_{21} — коэффициент влияния второго генератора на первый;

$\phi = \int \left(\frac{\omega_2}{K_2} - \frac{\omega_1}{K_1} \right) dt$ — фазовая расстройка эквивалентных генераторов;

$F \{ \sin \phi \}$ — функция фазового рассогласования эквивалентных генераторов, имеющая размерность напряжения.

Перепишем уравнения (1) и (2) в виде

$$\frac{\omega_1}{K_1} = \frac{\omega_{01}}{K_1} + a_{21} \frac{S_1}{K_1} F \{ \sin \phi \}; \quad (3)$$

$$\frac{\omega_2}{K_2} = \frac{\omega_{02}}{K_2} - a_{12} \frac{S_2}{K_2} F \{ \sin \phi \}. \quad (4)$$

В этих уравнениях появляются специфичные, присущие только системам взаимной синхронизации автогенераторов методом цифрового частотного синтеза, коэффициенты $\frac{S_1}{K_1}$ и $\frac{S_2}{K_2}$, которые назовем крутизной электронной перестройки ЭГ.

Из уравнений (3) и (4) видно, что при прочих равных условиях крутизна электронной перестройки больше у ЭГ в том канале, где коэффициент деления ДПКД меньше. Это можно объяснить следующим: в режиме рассогласования на выходах

СУ появляются одинаковые по величине и противоположные по знаку управляющие напряжения, вызывающие при равенстве S_1 и S_2 одинаковое изменение частот генераторов СГ-1 и СГ-2:

$$|\Delta\omega_1| = |\Delta\omega_2|.$$

Эти частотные изменения, проходя через ДПКД-1 и ДПКД-2, переходят в частотные приращения эквивалентных генераторов, причем изменение частоты больше у ЭГ в том канале, где меньше коэффициент деления, т. е. в том канале больше крутизна управления ЭГ.

Из выражений (1) и (2) видно, что при равенстве одного из коэффициентов влияния a нулю схема взаимной синхронизации двух автогенераторов методом цифрового частотного синтеза (ЦЧС) превращается в обычную схему ЦЧС, в которой опорным является генератор СГ-1 при $a_{12}^* = 1$, $a_{21}^* = 0$; или СГ-2 при $a_{12}^* = 0$, $a_{21}^* = 1$.

В принятых обозначениях частотные соотношения в системе ЦЧС с опорным генератором СГ-1 могут быть записаны так:

$$\frac{\omega_1}{K_1} = \frac{\omega_{01}}{K_1}; \quad (5)$$

$$\frac{\omega_2}{K_2} = \frac{\omega_{02}}{K_2} - a_{12}^* \frac{S_2}{K_2} F \{\sin \psi\}. \quad (6)$$

Учитывая, что в режиме синхронизма

$$\frac{\omega_1}{K_1} = \frac{\omega_2}{K_2} = \omega_0, \quad (7)$$

несложно получить выражение, связывающее параметры системы ЦЧС с начальным частотным рассогласованием ЭГ:

$$\Delta\omega_0 = \frac{\omega_{02}}{K_2} - \frac{\omega_{01}}{K_1} = a_{12}^* \frac{S_2}{K_2} F \{\sin \psi\}. \quad (8)$$

Определим выражение, связывающее начальную расстройку с параметрами системы взаимной синхронизации двух автогенераторов методом ЦЧС в режиме синхронизма.

Вытя (3) из (4), получим

$$\Delta\omega_0 = \left(a_{12} + a_{21} \frac{K_2 S_1}{S_2 K_1} \right) \frac{S_2}{K_2} F \{\sin \psi\}. \quad (9)$$

Сравнивая (8) и (9), получим следующее соотношение, связывающее коэффициенты влияния a_{12} и a_{21} с параметрами системы взаимной синхронизации двух автогенераторов:

$$a_{12}^* = a_{12} + a_{21} \frac{K_2 S_1}{S_2 K_1} = 1. \quad (10)$$

Из выражения (10) видно, что при взаимной связи двух автогенераторов методом ЦЧС степень влияния одного генера-

тора на другой меньше влияния опорного генератора на СГ в системе ЦЧС. В рассматриваемом примере

$$a_{12} = 1; \quad (11)$$

$$a_{12} = 1 - a_{21} \frac{K_2 S_1}{S_2 K_1}. \quad (12)$$

Определим значения установившихся частот СГ-1 и СГ-2 в системе.

Исключив из уравнений (3) и (4) функцию рассогласования

$$F \{ \sin \psi \}$$

и учтя, что в режиме синхронизма выполняется условие

$$\frac{d\psi'}{dt} = 0,$$

после несложных преобразований получим значение средней частоты сравнения на СУ:

$$\bar{\omega}_0 = \frac{\omega_{01} a_{12} S_2 \mp \omega_{02} a_{21} S_1}{a_{12} S_2 K_1 \mp a_{21} S_1 K_2}. \quad (13)$$

С учетом (13) в режиме синхронизма частоты СГ-1 и СГ-2 соответственно равны

$$\omega_1' = \frac{\omega_{01} a_{12} S_2 \mp \omega_{02} a_{21} S_1}{a_{12} S_2 \mp a_{21} S_1 \frac{K_2}{K_1}}; \quad (14)$$

$$\omega_2' = \frac{\omega_{01} a_{12} S_2 \mp \omega_{02} a_{21} S_1}{a_{12} S_2 \frac{K_1}{K_2} \mp a_{21} S_1}. \quad (15)$$

Положив параметры каналов одинаковыми:

$$a_{12} = a_{21} \neq 0;$$

$$S_1 = S_2;$$

$$K_1 = K_2,$$

придем к результату, полученному в работе [2]:

$$\omega_1' = \omega_2' = \frac{\omega_{02} \mp \omega_{01}}{2}, \quad (16)$$

т. е. в случае идентичных каналов частоты взаимно синхронизированных генераторов равны и являются средним от парциальных частот СГ-1 и СГ-2.

В уравнениях (14) и (15) явно выражена зависимость установившихся частот СГ-1 и СГ-2 в режиме синхронизма от параметров системы.

На рис. 3 приведены характеристические зависимости установившихся значений частот СГ-1 и СГ-2 в функции от значения коэффициента деления ДПКД в первом канале при разных значениях коэффициентов влияния.

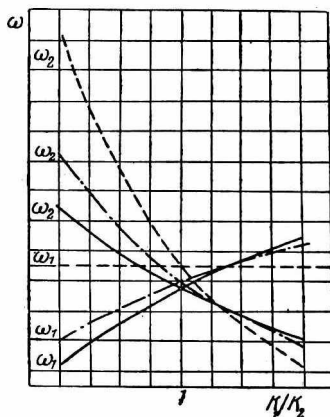


Рис. 3.

Следует подчеркнуть, что приведенные выше результаты справедливы лишь в том случае, если начальная расстройка меньше полосы схватывания системы.

ВЫВОДЫ

В случае равенства одного из коэффициентов влияния нулю схема взаимной синхронизации двух автогенераторов методом цифрового частотного синтеза превращается в обычную схему ЦЧС с опорным генератором СГ-1 при $a_{12}^* = 1$, $a_{21}^* = 0$; или СГ-2 при $a_{12}^* = 0$, $a_{21}^* = 1$.

При взаимной синхронизации двух автогенераторов методом ЦЧС степень влияния (величина коэффициента влияния a) одного генератора на другой меньше, чем влияние опорного генератора на синхронизируемый в обычной схеме ЦЧС.

Значения частот СГ-1 и СГ-2 в режиме синхронизма определяется, согласно (14) и (15), а их отношение полностью определяется значениями коэффициентов деления ДПКД в каждом из каналов:

$$\frac{\omega_1'}{\omega_2'} = \frac{K_1}{K_2}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ

Определим условия устойчивости в «малом» системы взаимной синхронизации двух автогенераторов методом ЦЧС.

Вытя (3) из (4) и проведя элементарные преобразования, получим

$$\frac{d\psi}{dt} + \left(a_{12} \frac{S_2}{K_2} + a_{21} \frac{S_1}{K_1} \right) F \{ \sin \psi \} = \Delta \omega_0. \quad (17)$$

Это уравнение идентично основному дифференциальному уравнению системы ФАПЧ [3].

Оно показывает, что в любой момент в замкнутой системе взаимной синхронизации двух автогенераторов методом ЦЧС алгебраическая сумма мгновенной разности частот $d\psi/dt$ и расстройки, вносимой управляющими элементами, равна постоянной величине (начальной расстройке ЭГ), поэтому как и типовая схема ФАПЧ, система взаимной синхронизации двух автогенераторов методом ЦЧС является астатической [3] по частоте.

Этим обеспечивается справедливость условия (7) для системы в режиме синхронизма.

Для исследования устойчивости системы в «малом» дадим значению фазового рассогласования ЭГ в режиме синхронизма ψ' небольшое приращение $\Delta\psi$.

Тогда из (17) можно получить

$$\frac{d\psi}{dt} = - \left(a_{12} \frac{S_2}{K_2} + a_{21} \frac{S_1}{K_1} \right) F \{ \Delta\psi \cos \psi' \}, \quad (18)$$

откуда

$$\Delta\psi(t) = \exp\left[-t\left(a_{12}\frac{S_2}{K_2} + a_{21}\frac{S_1}{K_1}\right)F\{\cos\psi'\}\right], \quad (19)$$

т. е. при малых возмущениях с течением времени система переходит в режим устойчивого удержания.

В «большом» данная система как и всякая система, имеющая определенную полосу схватывания, неустойчива.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. И. Губернаторов, А. Н. Зеленин. Математическое описание системы взаимной синхронизации группы автогенераторов методом цифрового частотного синтеза. Сб. «Радиотехника», вып. 21. Изд-во ХГУ, Харьков, 1972.
2. W. B. Waggen. «A two oscillator combiner using mutual synchronization». Frequency Technology. April, 1969.
3. В. А. Шахгильдян, А. А. Ляховкин. Фазовая автоподстройка частоты. Изд-во «Связь», 1966.