

АНАЛИЗ РАБОТЫ ГЕНЕРАТОРА С ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Куцко Д.И., Ползунов В.В.

Ползунов В.В. – к.т.н., доцент

В работе показана возможность управления фазой синхронизированного генератора с помощью внешней дополнительной обратной связи

В радиоизмерительной технике исключительно важную роль играют генераторы прецизионных колебаний, обладающие эталонными свойствами частоты и фазы.

Для создания достаточно мощных генераторов прецизионных колебаний используют внешнее воздействие эталонного сигнала относительно малой мощности на достаточно мощный, но не прецизионный автогенератор. В этом случае частота синхронизируемого генератора оказывается равной частоте внешнего сигнала (режим полного захвата частоты). Такая синхронизация может существовать не только при неизменных во времени частоте (фазе) внешнего сигнала, но сохраняется в пределах полосы синхронизации при изменении параметров внешнего сигнала (амплитуды, частоты, фазы), питающих напряжений синхронизируемого генератора, температуры и других дестабилизирующих факторов. Воздействие дестабилизирующих факторов вызывает нестабильность фазового набега в синхронизируемом генераторе (СГ), которая в свою очередь, ведет к нарушению когерентности и возрастанию уровня флюктуаций частоты на выходе синхронизированного автогенератора [1].

Для уменьшения влияния дестабилизирующих факторов в синхронизируемом генераторе на стабильность частоты и фазы выходного сигнала синхронизированного генератора используются системы автоматической подстройки фазы (АПФ) [2]. В работе [2] рассматриваются различные варианты схем АПФ СГ, в частности, схема стабилизации фазы регенеративного усилителя на отражательном клистроне, в которой сигнал ошибки с выхода фазового детектора подается на управляющий электрод клистрона (отражатель). Такая схема может быть также реализована и на других типах автогенераторов СВЧ, синхронизированных внешним высокостабильным генератором, имеющих специальный управитель частоты (например варикап). В схемах фазовой автоподстройки автогенератор выполняет функцию фазового модулятора. Однако, применение самого активного прибора в качестве фазового модулятора не всегда возможно, так как не все СВЧ генераторы имеют устройства управления частотой, а использование питающих напряжений для этой цепи нецелесообразно, т.к. это ведет к изменению выходной мощности генератора.

Структурная схема автоматической подстройки фазы в синхронизированном автогенераторе с ДОС показана на рис. 1.

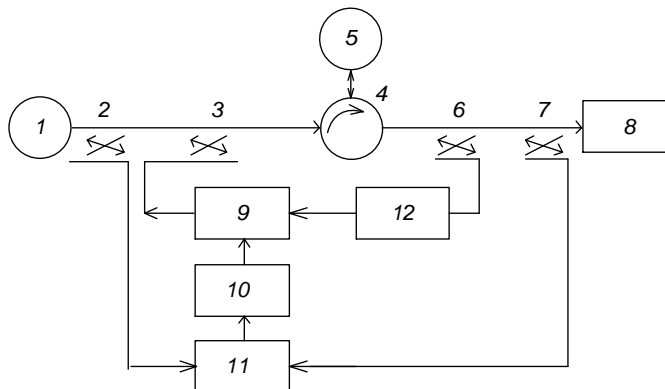


Рис. 1 – Структурная схема кольца АПФ синхронизированного автогенератора с дополнительной обратной связью:
1 – задающий генератор; 2,3,6,7 – направленные ответвители; 4 – циркулятор;
5 – синхронизируемый генератор; 8 – нагрузка; 9 – фазовый модулятор; 10 – усилитель; 11 – фазовый детектор;
12 – установочный фазовращатель

где петля дополнительной обратной связи образована направленными ответвителями (3,6), фазовым модулятором (9), управляющим сигналом для которого служит сигнал с выхода фазового детектора (11), и установочным фазовращателем (12), с помощью которого устанавливается необходимый начальный сдвиг фазы в цепи ДОС. Циркулятор (4) необходим для подачи на синхронизируемый генератор (5) сигналов: основного – от задающего генератора (1) и дополнительно – из цепи ДОС.

Принцип работы системы АПФ основывается на следующем. Из классической теории синхронизированных генераторов [1] известно, что установившийся фазовый сдвиг (ϕ) между входным и выходным колебаниями СГ определяется выражением:

$$\phi = \arcsin 2Q \frac{\omega_r - \omega_c}{\omega_0} \sqrt{\frac{P_0}{P_c}}, \quad (1)$$

где Q - добротность колебательной системы автогенератора;

P_0 - выходная мощность автогенератора;

P_c - выходная мощность синхросигнала;

ω_r - частота свободных колебаний автогенератора

ω_c - частота синхросигнала.

Из выражения (1) видно, что управлять фазовым сдвигом в синхронизированном генераторе возможно либо за счет изменения параметров входного колебания (P_c, ω_c), либо за счет изменения параметров автогенерации (P_0, ω_r) в синхронизируемом генераторе. Поскольку входное воздействие обладает, как правило, эталонными свойствами (высокой стабильностью частоты и фазы), то изменять его параметры нет смысла. Наиболее целесообразно управлять фазой изменяя частоты автогенерации (ω_r) (т.е. изменяя питающие напряжения). Однако, для этого требуются мощные источники управляющего напряжения. Кроме того, при этом меняется выходная мощность генератора. В [3] получено выражение для частоты свободных колебаний магнетронного автогенератора (ω_r'), охваченного цепью внешней дополнительно обратной связи, в зависимости от параметров цепи ДОС.

$$\omega_r' = \omega_0 \left[1 + \frac{\operatorname{tg} \left(\frac{\sin \theta - 1/k \sin \varphi}{\cos(\theta + 1/k \cos \varphi)} \right)}{2Q_n} \right] \quad (2)$$

Где Q_n - нагруженная добротность колебательно системы;

ω_0 - резонансная частота колебательной системы;

θ - угол запаздывания амплитуды первой гармоники тока относительно амплитуды высокочастотного напряжения;

$k = \frac{I_H}{I_{OC}}$ - отношение амплитуды первой гармоники тока к току в цепи ДОС;

$\varphi = \psi + \theta$; ψ - сдвиг фазы в цепи ДОС.

Из (2) видно, что частотой свободных колебаний автогенератора с цепью ДОС можно управлять изменяя фазу (ψ) в цепи с внешней дополнительно обратной связи.

Подставив (2) в (1), получим выражение для фазового сдвига в синхронизированном генераторе с ДОС

$$\phi = \arcsin 2Q \frac{\omega_0 \left[1 + \operatorname{tg} \left(\frac{\sin Q - 1/k \sin \varphi}{\cos Q + 1/k \cos \varphi} \right) \right] - \omega_c}{\omega_0} \sqrt{\frac{P_0}{P_c}} \quad (3)$$

Из (3) видно, что фазовый сдвиг в синхронизированном генераторе зависит от параметров цепи ДОС (k, ψ). Изменяя фазу в цепи ДОС можно в широких пределах менять частоту автогенерации (ω_r) и таким образом поддерживать постоянным фазовый сдвиг между входным и выходным колебаниями синхронизированного генератора. Чем больше коэффициент передачи цепи ДОС (K), тем выше крутизна изменения ω_r от ψ . Изменение частоты автогенерации за счет цепи ДОС значительно выгоднее энергетически и, кроме того, меньше влияет на выходную мощность синхронизированного генератора

Список использованных источников:

1. Куракава К, Принудительная синхронизация твердотельных СВЧ генераторов. –ТИИЭР, 1973, т.60, №10.
2. Автоматическая подстройка фазового набега в усилителях/ Под ред. Капанова В.В.-М.:Сов. Радио.1972.
3. Бригидин А.М., Минаев М.И. Перестройка и стабильность частоты магнетрона в режиме самосинхронизации. – Электронная техника, сеир.1 «Электроника СВЧ», 1976, вып.2.