

УДК 621.373.5

Зенів І. О., інженер (Тел.: +380 (50) 200 55 05. E-mail: zenechka@ukr.net)
(Государственный университет телекоммуникаций, г. Киев)

СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ ГЕНЕРАТОР МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С УДВОЕННОЙ ВЫХОДНОЙ МОЩНОСТЬЮ

Зенів І. О. Стабілізований генератор міліметрового діапазону з подвоєною вихідною потужністю. У представленій роботі розглянута еквівалентна схема синхронізованого генератора надвисоких частот, що дозволяє отримання на виході подвоєного значення вихідної потужності по відношенню до максимального значення для одного діода. Розглянуто розрахункові співвідношення для отриманої еквівалентної схеми синхронізованого генератора.

Ключові слова: генератор, надвисока частота, синхронізація, потужність, міліметровий діапазон, лавинно-пролітний діод

Зенів І. О. Стабилизированный генератор миллиметрового диапазона с удвоенной выходной мощностью. В представленной работе рассмотрена эквивалентная схема синхронизированного генератора сверхвысоких частот, позволяющая получение на выходе удвоенного значения выходной мощности по отношению к максимальному значению для одного диода. Рассмотрены расчетные соотношения для полученной эквивалентной схемы синхронизированного генератора.

Ключевые слова: генератор, сверхвысокая частота, синхронизация, мощность, миллиметровый диапазон, лавинно-пролетный диод

Zeniv I. O. Stabilized millimetric band oscillator with a doubling of output power. There is considered the equivalent circuit of synchronized microwave oscillator that allows produce at the output the double value of the output power with respect to the maximum value for a single diode. The calculation relations for the obtained equivalent circuit of synchronized oscillator are considered.

Keywords: oscillator, microwave, synchronization, power, range, millimetric band, avalanche-transit diode

На современном этапе развития беспроводных средств связи, в том числе радиорелейных линий (РРЛ), широкое применение в диапазоне СВЧ (в том числе в диапазоне 8 мм) находят передающие устройства на твердотельных элементах – лавинно-пролетных диодах (ЛПД) [1]. Для получения устойчивой связи в сложных погодных условиях решающим фактором является увеличение выходной мощности передающих устройств.

Учитывая ограниченные возможности одиночных диодов ЛПД в импульсном режиме (обусловленные допустимой плотностью токов, отводом тепловой мощности от чипа и т.д.) представляет интерес способ повышения мощности передающего устройства путем сложения мощностей нескольких диодов в одном устройстве [2, 3] за счет обеспечения режима синхронизации их работы.

Структурная схема синхронизированного генератора (СГ) приведена на Рис.1.

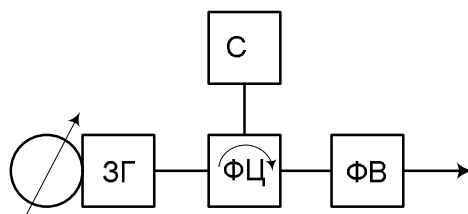


Рис. 1. Структурная схема синхронизированного генератора
ЗГ – задающий генератор; СГ – синхронизируемый выходной генератор;
ФЦ – ферритовый циркулятор; ФВ – ферритовый вентиль.

В соответствии с требованиями к стабильности частоты задающий генератор выполнен по схеме стабилитрона, с включенным позади диодной секции высокочастотным цилиндрическим резонатором. Резонатор изготовлен из суперинвара, использует тип

колебания H_{011} , и перестраивается механическим перемещением поршня в заданном диапазоне частот.

Выходной (синхронизируемый) генератор выполнен на ЛПД и функционирует в режиме инжекционной синхронизации. Использование синхрогенератора позволяет обеспечить получение достаточно большой мощности, т.к. в этом случае оба генератора (задающий и синхронизируемый) работают в режиме сложения мощностей.

Задающий генератор, входящий в состав синхронизированного генератора, обеспечивает высокую стабильность частоты. Кроме того схема генератора такого вида, как стабилитрон, позволяет при хорошем уровне стабилизации получить выходную мощность, близкую к максимальному значению.

Эквивалентная схема импульсного стабилизированного генератора не отличается от схемы непрерывного. Отличие заключается только в том, что в пределах импульса стабильный по частоте режим достигается путем коррекции тока (используется т.н. метод уменьшения температурной нестабильности путем токовой стабилизации) за счет управления током.

Как в схеме стабилизированного генератора, так и в схеме синхрогенератора используется диодная секция с включением отражающего поглотителя в цепи питания.

Эквивалентная схема включения диода представлена на Рис. 2.

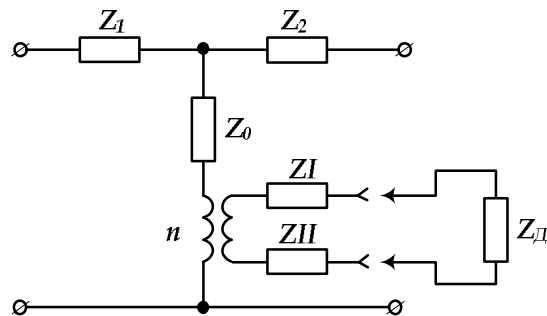


Рис. 2. Эквивалентная схема включения диода

Z_0, Z_1, Z_2 – сопротивления, характеризующие свойства коаксиально-волнового перехода;
 Z_I, Z_{II} , входные импедансы коаксиальных линий I и II.

Коаксиальные линии I и II используются для резонансной настройки диода (путем перемещения, как самого диода так и настройки коаксиальным поршнем – поглотителем).

В конструкции применен согласующий трансформатор с коэффициентом трансформации n , который учитывает установку диода по отношению к центру волновода ($n = \text{cosec}^2(\pi d/a)$). Здесь d – диаметр штыря, a – размер широкой стенки волновода. При этом $n = 1$ для установки диода в середине широкой стенки. Конструкция диодной камеры представлена на Рис. 3.

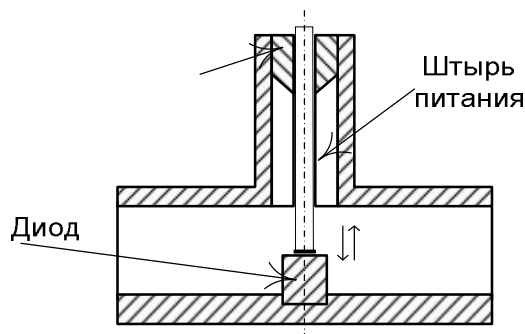


Рис. 3. Конструкция диодной камеры

Эквивалентная схема задающего генератора представлена на Рис 4. Она не отличается от эквивалентной схемы генератора непрерывного сигнала на ЛПД с резонатором, включенным позади диодной камеры (по схеме стабилитрона).

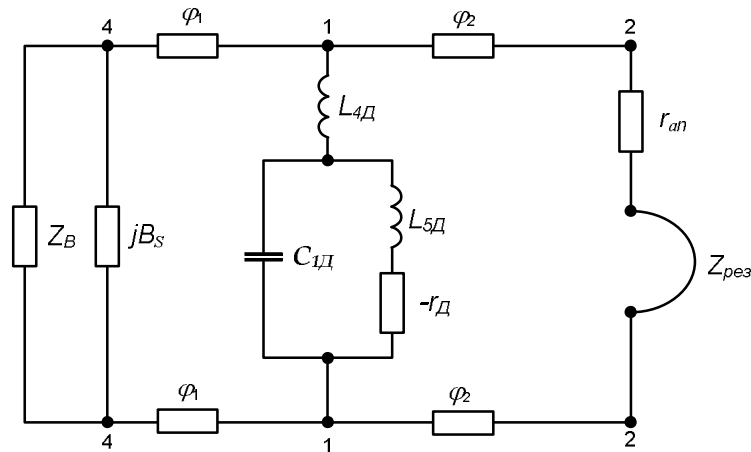


Рис. 4. Эквивалентная схема задающего генератора

Элементы C_{1D} , L_{5D} , r_D являются элементами эквивалентной схемы ЛПД, где C_{1D} – емкость корпуса, L_{5D} – индуктивность диодного контакта, r_D – отрицательное сопротивление диода.

Остальные элементы – элементы конструкции генератора: Z_e – нагрузка (волновод), jB – неоднородность на выходе генератора, r_{an} – потери в волноводе L_{4D} – индуктивность штыря питания диода. Стабилизирующий резонатор обладает полным сопротивлением Z_{pez} , φ_1 и φ_2 – электрические расстояния, на которых находится нагрузка и резонатор от плоскости включения диода, соответственно. Активный элемент (в плоскости включения диода) можно в общем виде представить как последовательное включение отрицательного сопротивления $-R_D$ и X_D – реактивного сопротивления (в допущении гармонического тока).

Условие стационарного режима генератора на рабочей частоте имеет следующий вид:

$$R_{\Sigma} = R_D(I_1\omega) + R_c(I_1\omega) - \text{условие баланса активных сопротивлений};$$

$$X_{\Sigma} = X_D(I_1\omega) + X_c(I_1\omega) - \text{условие баланса реактивных сопротивлений}.$$

Проведя все к сечению, обозначенному точками 1 – 1 получим:

$$Z_{1-1\text{слева}}(\omega) = (Z_{13-13}(\omega) + r_{an})e^{j\varphi_1}. \tag{1}$$

В выражении (1) $Z_{13-13}(\omega) = \left(\frac{1}{Z_e} + \frac{1}{j\omega B} \right)^{-1}$; $Z_{1-1\text{справа}}(\omega) = (Z_{pez}(\omega) + r_{an})e^{j\varphi_2}$.

Сопротивление резонатора определяется как

$$Z_{pez}(\omega) = \frac{R_0}{1 + jQ_0\xi(\omega)},$$

где $R_0 = 900$ Ом – сопротивление резонатора на резонансной частоте;

$Q_0 = 500$ – нагруженная добротность резонатора;

ξ – эффективная расстройка резонатора (где ω_0 – резонансная частота).

Для определения полного сопротивление колебательной системы в сечении 1 – 1 необходимо отметить, что все сопротивления нормированы, то есть, приведены к сопротивлению волновода. В виду того, что генератор собран по схеме стабилитрона, эти величины определяются из следующих соотношений:

$$Z'_n = Z_{av} = \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{\Gamma_{an} + \bar{Z}_{pez}}{1 + \bar{Z}_{pez}} \right) \cdot e^{-j2\varphi_{02}} + 1 \right],$$

где $Z'_p = \frac{Z'_p}{1 + r'_{an}}$; $\Gamma_{an} = \frac{r'_{an} - 1}{r'_{an} + 1}$.

Значение КПД определяется выражением: $\eta = \frac{|Z'_{a\delta}|^2}{R'_{a\delta}}$.

Фиксирующая способность находится из соотношения:

$$K_{\omega} = T_2 \cdot K^{-1} \cdot \sin(\psi_{2\delta} - \psi_{3\delta}),$$

где $T_2 \approx \left| \frac{dZ'_{a\delta}}{d\omega} \right| = \frac{2Q_{p0}(R'_{oe})}{\omega_{p1}R'_{oe}} \cdot \frac{Z'_p}{(Z'_p + 1 + r_{an})^2}$; $\psi_{2\delta} = \arg \left| \frac{dZ'_{a\delta}}{d\omega} \right|$, $\psi_{3\delta} = \arg \left| \frac{\partial Z_{\delta\delta}}{\partial \text{Im}} \right|$;

$Z_{\delta\delta}$ – импеданс эквивалентного активного элемента в сечении 1 – 1.

Фиксирующая способность в диапазоне находится из соотношения:

$$K = \frac{R_n(\omega)}{r_{\delta}(\omega I_0 I_{\omega})},$$

являющегося коэффициентом, определяющим уменьшение фиксирующей способности генератора из-за резонансного включения диода.

В нашем случае: $K = \left| \frac{R_{pe}}{r_{\delta}} \right|$.

Все выражения для коэффициента стабилизации получены при допущении, что

$$\left| \frac{dZ'_{a\delta}}{d\omega} \right| \gg \left| \frac{dZ_{\delta\delta}}{d\omega} \right|.$$

При разработке выходного устройства – синхронизируемого генератора – к нему предъявлялись следующие требования:

– при подаче на него одновременно импульсного тока и входной импульсной мощности синхросигнала на выходе его импульсная мощность должна быть максимальной для используемого генерирующего диода;

– конструкция синхрогенератора должна соответствовать схеме отражательного усилителя с ферритовым циркулятором;

– диодная камера должна быть идентична по конструкции с камерой задающего генератора.

При рассмотрении путей создания подобного синхрогенератора используется метод изображающих функций. С помощью его возможен расчет характеристик синхронного режима генератора на ЛПД при изменении входного сигнала в широких пределах, включая уровни, превышающие значение максимальной мощности автоколебаний. В соответствии с методом изображающих функций стационарный синхронный режим определяется уравнением:

$$U_m H(\omega, U_m) = i_s \cdot e^{j\varphi},$$

где $H(\omega, U_m, I_0; \Theta)$ – изображающая функция, которая определена следующим значением проводимости:

$$H(\omega, U_m, I_0, \Theta) = y_{\delta\delta}(\omega, U_m, I_0; \Theta) + y_n(\omega).$$

Здесь: $y_{\delta\delta}$ – проводимость эквивалентного диода при амплитуде напряжения U_m , на частоте ω , при токе диода I_0 , и температуре чипа Θ ;

y_n – проводимость СВЧ нагрузки, приведенной к схеме эквивалентного диода;

i_s – амплитуда синхронизирующего тока;

φ – угловая разница между синхронизирующим током и выходным сигналом.

Устойчивость стационарного режима определяется условием:

$$\frac{\partial}{\partial U_m} \cdot (\bar{H}, \omega U_m I_o, \theta) \Big|_{\substack{\omega = \omega_0 \\ \theta = \theta_c}} U_m = U > 0,$$

где ω_0 , U_m с θ – параметры стационарного режима

Если величины изображающей $\theta = \theta_c$ являются известной функцией, тогда легко определить коэффициенты отражения в сечении выхода мощности синхронизатора:

$$\bar{\Gamma}(\omega_c, U_{mc}) = \Gamma e^{j\gamma} = \frac{r_{g0} - H(\omega_c, U_{mc})}{H(\omega_c, U_{mc})}.$$

В этом случае выходная мощность $P_{вых} = |\Gamma|^2 P_s$, где P_s – мощность синхронизирующего сигнала.

Отсюда значение синхронизирующего тока на клеммах эквивалентного диода равно:

$$i_s = (8P_s g_0)^{1/2},$$

где $g_0 = I / w_0$; w_0 – волновое сопротивление волновода.

Связь между векторами $\bar{H} = He^{j\xi}$ и $\bar{\Gamma} = \Gamma e^{j\gamma}$ можно определить из соотношения:

$$He^{j\xi} = -\frac{2g_0}{\Gamma^2 - 1} + \frac{2g_0}{\Gamma^2 - 1} \cdot \Gamma e^{j\gamma}, \quad \text{где } j\xi = -\frac{\Gamma \sin \gamma}{1 + \Gamma \cos \gamma}.$$

Выводы. Таким образом, в работе получены выражения для определения выходной мощности синхронизированного генератора. Показано, что в оптимальном режиме эта мощность может быть равна удвоенной мощности, по отношению к той которую можно получить от генератора на одном диоде. Приведены соотношения для расчета выходной мощности в зависимости от параметров элементов синхронизированного генератора. Для получения оптимального режима надо определить такие параметры генератора и режим диода, при котором годограф изображающей функции максимально приближается годографу эквивалентной цепи для постоянного значения Γ .

Литература

1. Johnston R. L. A silicon diode microwsw e oscillator / R. L. Johnston, B. C. De Loach, G. B. Cohen // Bell Syst. Tech. J. – Feb., 1965. – Vol.44. – PP. 369-372.
2. Фомин Н. Н. Синхронизированные полупроводниковые генераторы в аппаратуре СВЧ / Н. Н. Фомин. – Москва : Связь. – 1979. – 40 с.
3. Курокава К. Принудительная синхронизация твердотельных СВЧ-генераторов / К. Курокава // ТИИЭР. – 1973. – Т.61, №10. – С. 12-40.

Дата надходження в редакцію: 06.08.2014 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Манько О. О.