

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВЕ ДВУХКОЛЬЦЕВОЙ ФАЗОВОЙ ПОДТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

Федюшко А. Ю., Косулина Н. Г.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

В данной статье решена задача по определению параметров генератора КВЧ диапазона, на основе двухкольцевой системы ФАПЧ, которые обеспечивают минимум дисперсии фазы колебаний выходного сигнала.

Постановка проблемы. Решение задачи, связанное с определением структурной схемы высокостабильного электромагнитного источника в диапазоне частот на основе ФАПЧ, сводится к определению элементов системы переноса спектра от кварцевого генератора в миллиметровый диапазон. Система ФАПЧ может рассматриваться как фильтр низких частот (ФНЧ) относительно шумов колебаний опорной частоты и как фильтр верхних частот (ФВЧ) относительно шумов подстраиваемого генератора. Причём постоянная фильтра одна и та же. Применение системы ФАПЧ позволит обеспечить требуемое отношение сигнал/шум на выходе генератора при минимальном значении дисперсии фазы выходного сигнала [1].

Анализ последних исследований. Применение КВЧ излучения в медицине и животноводстве показало, что эффект от действия электромагнитных излучений для уничтожения микроорганизмов будет зависеть от использования высокостабильных по частоте генераторов с высокими требованиями по спектрально-флуктуационным характеристикам [2, 3]. Анализ серийно выпускаемых генераторов КВЧ диапазона по таким параметрам, как нестабильность частоты, погрешность установки выходной частоты, диапазон перестройки, показал, что они не могут быть использованы для уничтожения микроорганизмов. Создание высокостабильных по частоте источников ЭМ излучения миллиметрового диапазона является довольно сложной научно-технической задачей [3]. Следовательно, необходимы исследования по созданию высокостабильных источников ЭМП КВЧ диапазона, отвечающих высоким требованиям по спектру выходных сигналов, диапазону перестройки частоты и мощности выходного сигнала.

Целью статьи являются исследования процессов в двухкольцевой системе ФАПЧ генератора с определением её основных параметров.

Основная часть. Оптимальные параметры схемы генератора КВЧ диапазона определяются по критерию минимума дисперсии частоты (фазы) колебаний выходного сигнала синхронизируемого генератора с учетом характерных особенностей спектров всех элементов схемы [2]:

$$\sigma_{\phi_0}^2 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} S_{\phi_0}(\Omega) \frac{1}{1 + (0,5\Omega\tau)^2} d\Omega \quad (1)$$

где $S_{\phi_0}(\Omega)$ – энергетический спектр изменения частоты синхронизируемого генератора; τ – интервал

времени измерения; $\sigma_{\phi_0}^2$ – дисперсия отклонений частоты синхронизируемого генератора.

На характеристики ФАПЧ оказывают большое влияние: коэффициент умножения частоты $N_{умн}$, запаздывание в трактах усилителя, умножителя и синтезатора частот.

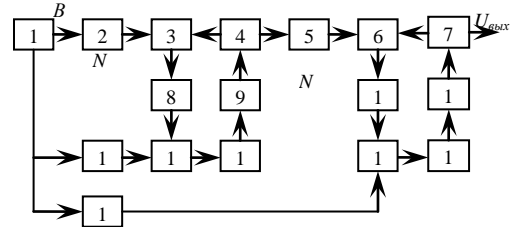


Рисунок 1 – Схема генератора с двумя кольцами ФАПЧ: 1 – кварцевый генератор; 2, 5 – умножители частоты; 3, 6 – смесители; 4 – подстраиваемый промежуточный генератор; 8, 10 – усилители промежуточной частоты; 12, 15 – ФД; 11, 17 – синтезаторы; 13, 16 – ФПЧ; 9, 14, 16 – УПТ.

В соответствии с функциональной схемой (рис. 1.) спектральная мощность фазовых флуктуаций на выходе двухкольцевой системы будет определяться выражением:

$$S_{\phi Г}(\Omega) = S_{\phi Г}^0(\Omega) \left| \frac{1}{1 + W_2(j\Omega)} \right|^2 + S_{\phi OC}(\Omega) \left| \frac{W_2(j\Omega)}{1 + W_2(j\Omega)} \right|^2, \quad (2)$$

где $S_{\phi Г}^0(\Omega)$ – спектральная мощность фазовых флуктуаций выходного автогенератора; $W_2(j\Omega)$ – передаточная функция разомкнутого второго кольца системы ФАПЧ; $S_{\phi OC}(\Omega) = \{S_{\phi_0}(\Omega) + S_{\phi VM2}(\Omega)\} N_2^2$ – спектральная мощность фазовых флуктуаций сигнала внешнего кольца ФАПЧ; $S_{\phi VM2}(\Omega)$ – спектральная мощность фазовых флуктуаций умножителя частоты второго кольца ФАПЧ, определяемая выражением [2]:

$$S_{\phi VM2}(\Omega) = \frac{B}{\Omega} \quad (3)$$

где $B = 10^{-10} \dots 10^{-13}$, параметр, зависящий от типа умножителя, интенсивности шума, режима работы активных элементов и добротности контуров; $S_{\phi_0}(\Omega)$ – спектральная мощность фазовых флуктуаций первого кольца, определяемая выражением:

$$\begin{aligned}
S_{\phi_0}(\Omega) = S_{\phi_{CG}}(\Omega) & \left\{ \left[1 + j\Omega(T_y + T_{\phi_d} + T_1 + T_4) + \right. \right. \\
& + (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\phi_d} + T_{\phi_d}T_1 + T_yT_4 + T_{\phi_d}T_4 + T_1T_4) + \\
& + (j\Omega)^3(T_yT_{\phi_d}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\phi_d}T_4 + \\
& \left. \left. + T_{\phi_d}T_1T_4 + (j\Omega)^4(T_yT_{\phi_d}T_1T_4) \right] j\Omega \right\}^2 \times \\
& \left\{ \left[1 + j\Omega(T_y + T_{\phi_d} + T_1 + T_4) + (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\phi_d} \right. \right. \\
& \left. \left. + T_{\phi_d}T_1 + T_yT_4 + T_{\phi_d}T_4 + T_1T_4) + \right. \right. \\
& \left. \left. + (j\Omega)^3(T_yT_{\phi_d}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\phi_d}T_4 + T_{\phi_d}T_1T_4) + \right. \right. \\
& \left. \left. + (j\Omega)^4(T_yT_{\phi_d}T_1T_4) \right] j\Omega + \right. \\
& \left. \Omega_{y\phi_d} \left[1 + (j\Omega)T_2 \right] \left[1 + (j\Omega)T_3 \right] \right\}^2 + \\
& + S_{\phi_{BG}}(\Omega) \left\{ \left| \Omega_{y\phi_d} (1 + j\Omega T_2)(1 + j\Omega T_3) \right|^2 \times \right. \\
& \times \left[1 + j\Omega(T_y + T_{\phi_d} + T_1 + T_4) + \right. \\
& \left. (j\Omega)^2(T_1T_y + T_yT_{\phi_d} + T_{\phi_d}T_1 + T_yT_4 + T_{\phi_d}T_4 + T_1T_4) + \right. \\
& \left. + (j\Omega)^3(T_yT_{\phi_d}T_1 + T_1T_yT_4 + T_yT_{\phi_d}T_4 + T_{\phi_d}T_1T_4) + \right. \\
& \left. \left. + (j\Omega)^4(T_yT_{\phi_d}T_1T_4) \right] j\Omega + \right. \\
& \left. \Omega_{y\phi_d} \left[1 + j\Omega T_2 \right] \left[1 + j\Omega T_3 \right] \right\}^2 \cdot; \quad (4)
\end{aligned}$$

Определим полосу удержания в первом и втором кольцах системы ФАПЧ:

$$2\pi F_{CX_1} < \Omega_{y\phi_d} < \frac{1}{2\pi T_{y_1}}, \quad (5)$$

где $F_{CX_1} \geq (\delta_{\text{ЭГ}} + \delta_{\text{ПГ}}) \cdot N_1 \cdot f_{\text{ЭГ}}$; T_{y_1} – постоянная времени усилителя.

Во внешнем (втором) кольце ФАПЧ полоса схватывания F_{CX_2} будет определяться выражением:

$$F_{CX_2} \geq N_2 \cdot f_{\text{ПГ}} (\delta_{\text{ПГ}} + \delta_{\text{Г}}). \quad (6)$$

Учитывая, что $N_2 = \frac{N}{N_1}$, получим:

$$F_{CX_2} \geq N \cdot f_{\text{ЭГ}} (\delta_{\text{ПГ}} + \delta_{\text{Г}}). \quad (7)$$

Таким образом, выражение для спектральной мощности фазовых флуктуаций генератора КВЧ диапазона (73...77 ГГц) будет определяться выражением:

$$\begin{aligned}
S_{\phi_G}(\Omega) = S_{\phi_G}^0(\Omega) & \left| \frac{1}{1 + W_2(j\Omega)} \right|^2 + \\
+ S_{\phi_0}(\Omega) N_2^2 & \left| \frac{W_2(j\Omega)}{1 + W_2(j\Omega)} \right|^2 + S_{\phi_{VM2}}(\Omega) N_2^2 \left| \frac{W_2(j\Omega)}{1 + W_2(j\Omega)} \right|^2. \quad (8)
\end{aligned}$$

Как следует из анализа полученных результатов наиболее приемлемыми параметрами двух-кольцевой системы ФАПЧ будут параметры: $T_y = 10^{-6}$ с; $T_{\phi_d} = 10^{-3}$ с; $T_1 = 10^{-2}$ с; $T_2 = 10^{-3}$ с; $T_3 = 10^{-4}$ с; $T_4 = 10^{-5}$ с; $\omega_{y\phi} = 10^5$ рад; $N_1 = 150$; $N_2 = 10$; уровень фазовых шумов $W_{\phi} = 100...110$ дБ/Гц. Для анализа устойчивости системы ФАПЧ по критерию Гурвица была использована запись процессов с помощью дифференциального

уравнения [2, 3]. Расчёты показывают, что система ФАПЧ имеет запас устойчивости.

$$\begin{aligned}
& P^5 (T_y + T_{\phi_d} + T_1 + T_4) + \\
& + P^4 (T_y T_{\phi_d} T_1 + T_1 T_y T_4 + T_y T_{\phi_d} T_4 + T_{\phi_d} T_1 T_4) + \\
& + P^3 (T_1 T_y + T_y T_{\phi_d} + T_{\phi_d} T_1 + T_y T_4 + T_{\phi_d} T_4 + T_1 T_4) + \\
& + P^2 (T_y + T_{\phi_d} + T_1 + T_4 + \Omega_{y\phi_d} T_2 T_3) + \\
& + P(1 + \Omega_{y\phi_d} T_2 + \Omega_{y\phi_d} T_3) + \Omega_{y\phi_d}. \quad (9)
\end{aligned}$$

Выводы. Для уничтожения грибковых микроорганизмов на поверхности плодов следует использовать перестраиваемый по частоте источник КВЧ колебаний с нестабильностью частоты $10^{-8}...10^{-7}$ на основе двухкольцевой фазовой автоподстройки частоты мощного синхронизируемого генератора частотой 73-77 ГГц по кварцевому генератору, который работает на частоте 50 МГц.

Список использованных источников

1. Федюшко А. Ю. Анализ распределения электрического поля на поверхности яблок со слоем микроорганизмов / А. Ю. Федюшко // Вісник "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2017. – № 16. – С. 141 – 146.
2. Черенков А. Д. Высокостабильные СВЧ генераторы для воздействия на личинную стадию вредных насекомых в сельскохозяйственном производстве / А. Д. Черенков, М. Мансур, Е. Л. Пиротти // Вестник "ХПИ". – НТУ "ХПИ", 2002. – № 7. – С. 131 – 135
3. Косулина Н. Г. Методы построения источников СВЧ колебаний для воздействия на биологические объекты / Н. Г. Косулина, А. Д. Черенков, М. Мансур // Харьков: ХГТУСХ, 2001. – № 6. – С. 190 – 195.

Анотація

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ГЕНЕРАТОРА НА ОСНОВІ ДВОКІЛЬЦЕВОГО ФАЗОВОГО ПІДСТРОЮВАННЯ ЧАСТОТИ

Федюшко А. Ю., Косуліна Н. Г.

У даній статті вирішена задача по визначенню параметрів генератора КВЧ діапазону, на основі двокільцевої системи ФАПЧ, які забезпечують мінімум дисперсії фази коливань вихідного сигналу.

Abstract

DETERMINATION OF GENERATOR PARAMETERS BASED ON A TWO-RING PHASE-LOCKED FREQUENCY

A. Fedyushko, N. Kosulina

The given task has the task of assigning the parameters of the microwave generator to the range, on the basis of the two-ring system of the PLLF, which will protect the minimum dispersion of the collusion phase with the signal.