

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СПЕКТРАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ СИГНАЛА НА ВЫХОДЕ PLL FS

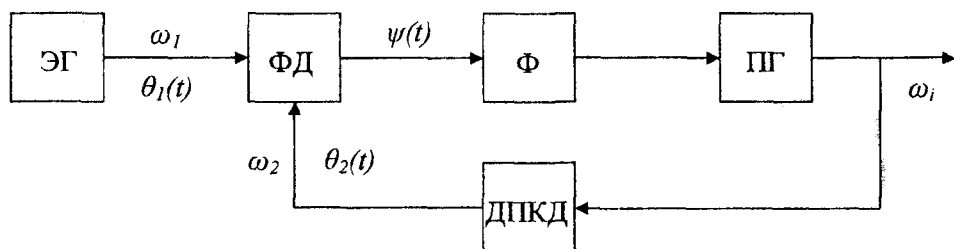
Сыроветник В.С.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
61166, Харьков, пр. Ленина, каф. сетей связи, тел. (057) 702-14-29,

E-mail: [vlad\\_syrovetnik@mail.ru](mailto:vlad_syrovetnik@mail.ru)

The given report is devoted to the definition of spectral function of signal with angular modulation which is present on the PLL FS output and also to the features connected with its reception.

Синтезаторы частот (СЧ) косвенного типа на основе системы фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) широко применяются в телекоммуникациях и радиотехнике. Они могут использоваться как для синтеза дискретного множества частот, так и для реализации схем синхронизации по частоте. Кроме того, косвенные СЧ могут применяться в качестве частотных модуляторов и демодуляторов. Базовая структурная схема косвенного цифрового СЧ приведена на рис. 1.



ФД – фазовый детектор; Ф – фильтр; ПГ – подстраиваемый генератор; ДПКД – делитель с переменным коэффициентом деления; ЭГ – эталонный генератор.

Рис.. 1

Переход СЧ от одной частоты к другой осуществляется путем изменения коэффициента деления  $N$  ДПКД. Перестройка частоты в СЧ сопровождается переходными процессами. За основу был взят аperiodический режим переходного процесса, который определяет закон изменения частоты во времени. Аperiodический переходной процесс для данного случая описывается выражением вида:

$$\Delta\omega(t) = C_1 \cdot e^{k_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{k_2 \cdot t} + \omega_1,$$

где

$\omega_1$  – приращение частоты эталонного сигнала;

$C_{1,2}$  – константы, зависящие от начальных условий дифференциального уравнения, описывающего работу системы;

$k_{1,2}$  – корни характеристического уравнения, соответствующего дифференциальному уравнению системы;

Если в качестве модулирующего сигнала рассматривать импульсный сигнал, определяющий значение коэффициента деления  $N$ , а система работает в аperiodическом режиме, тогда закон изменения частоты выходного сигнала будет иметь вид, приведенный на рис. 2. Представляет интерес получение спектральной функции выходного сигнала с угловой модуляцией.

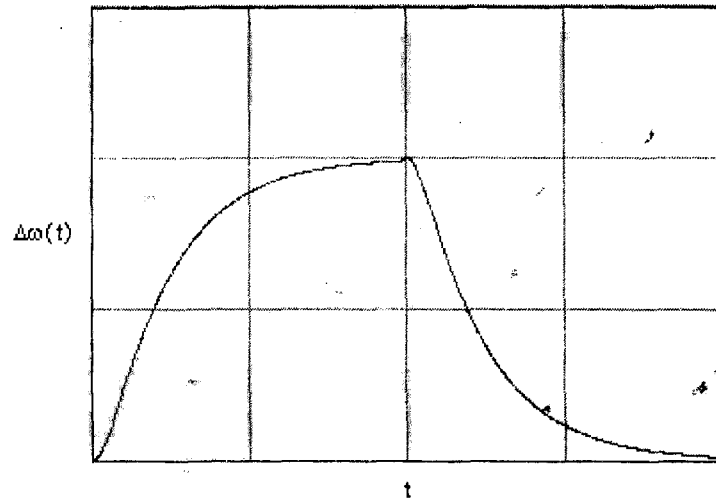


Рис.2. Закон изменения частоты выходного сигнала

Для получения спектральной функции исходного радиосигнала на выходе СЧ его временное представление было разделено на три части: гармонический сигнал до начала переходного процесса, участок сигнала во время переходного процесса, гармонический сигнал после окончания переходного процесса:

$$s(t) = \begin{cases} \cos(\omega_0 \cdot t) & t < 0 \\ \cos(\omega_0 \cdot t + \psi(t)) & 0 \leq t \leq 2 \cdot t_x, \\ \cos(\omega_0 \cdot t) & t > 2 \cdot t_x \end{cases}$$

где  $\psi(t)$  – изменение фазы радиосигнала, соответствующее изменению частоты, определяемому переходным процессом (рис. 1).

В общем виде спектральная функция радиосигнала имеет вид:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^0 \cos(\omega_0 \cdot t) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} dt + \int_0^{2 \cdot t_x} \cos(\omega_0 \cdot t + \psi(t)) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} dt + \int_{2 \cdot t_x}^{\infty} \cos(\omega_0 \cdot t) \cdot e^{-j \cdot \omega \cdot t} dt$$

Спектральное представление первого и третьего участка находится в аналитическом виде.

Была произведена попытка нахождения аналитического выражения для спектральной функции второго участка через нахождение спектральной функции его комплексной огибающей. Однако оказалось, что спектральная функция комплексной огибающей не выражается ни в элементарных, ни в специальных функциях.

$$\begin{aligned} \bar{U}(\omega) = & \int_0^{t_x} \exp \left( j \cdot \left( \frac{C_1}{k_1} \cdot (e^{k_1 \cdot t} - 1) + \frac{C_2}{k_2} \cdot (e^{k_2 \cdot t} - 1) + (\omega_1 - \omega) \cdot t \right) \right) dt + \\ & + \int_{t_x}^{2 \cdot t_x} \exp \left( j \cdot \left( \frac{C_1}{k_1} \cdot (e^{k_1 \cdot (t-t_x)} - 1) + \frac{C_2}{k_2} \cdot (e^{k_2 \cdot (t-t_x)} - 1) + \omega_0 \cdot (t-t_x) - \omega \cdot t \right) \right) dt \end{aligned}$$

Точный вид спектральной функции второго участка находится численными расчетами с помощью преобразования Фурье в конечных пределах. Модуль спектральной функции второго участка комплексной огибающей радиосигнала показан на рис. 3.

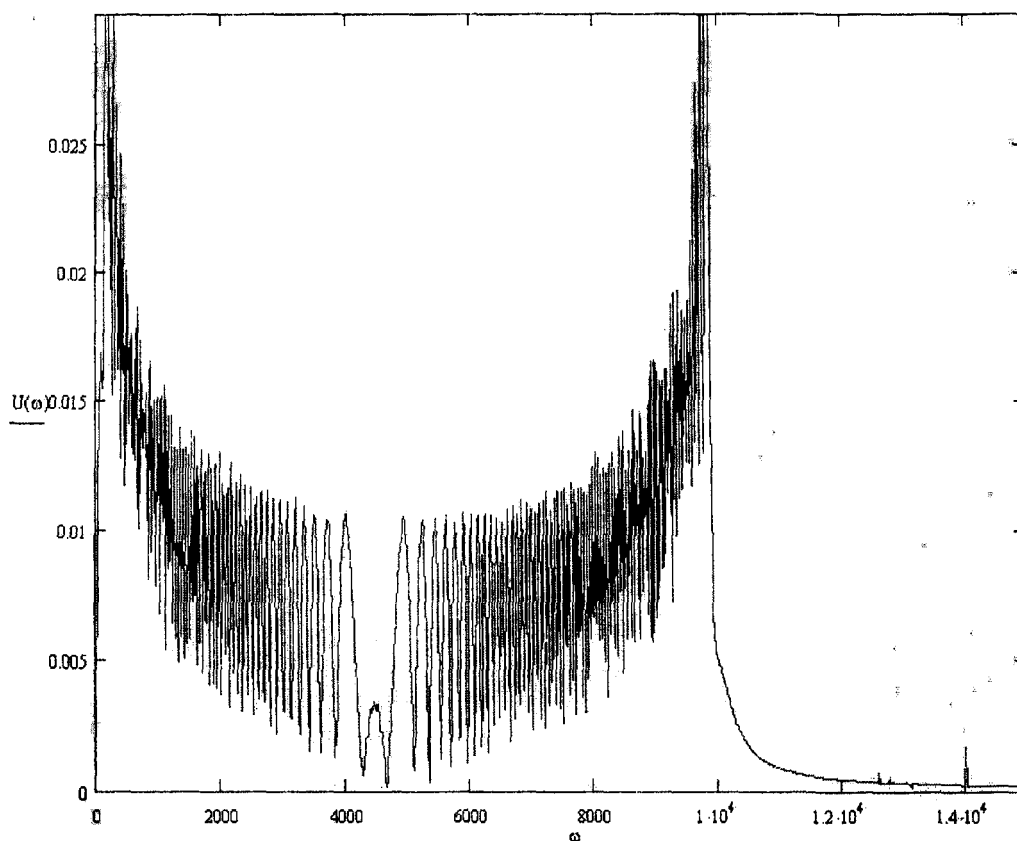


Рис. 3. Спектральная функция комплексной огибающей второго участка

Спектральный анализ второго участка показал, что соответствующий ему частотно-модулированный сигнал является сигналом с компактным спектром, так как большая часть его энергии содержится в ограниченной полосе, ширина которой приблизительно равна девиации частоты.

По полученным характеристикам сигнала на выходе СЧ не составляет труда определить его энергетический спектр и корреляционную функцию.

Таким образом, вид спектральной функции комплексной огибающей сигнала с УМ на выходе СЧ удалось получить только численными методами с использованием программного пакета моделирования MathCAD, так как аналитическое выражение для нее не приводится к элементарным или специальным функциям.

Учитывая, что характер переходного процесса по частоте определяется параметрами СЧ, вид спектральной функции также будет определяться теми же параметрами, что является предпосылкой к синтезу параметров СЧ по системным характеристикам требуемой сигнальной конструкции.