

кого диапазона определится формулой

$$\Delta D = \frac{4D_1}{(1 - \cos \Delta\varphi)^2} \quad (7)$$

Соответствующая формуле (7) зависимость приведена на рис. 3.

Таким образом, наличие частотной зависимости разбаланса у делителей мощности не позволяет получить выигрыш в динамическом диапазоне в широкой полосе частот, больший чем 20 дБ. При этом влияние фазового разбаланса делителей мощности значительно меньше и с этой точки зрения к ним не предъявляются высокие требования по сохранению постоянной разности фаз сигналов между выходами.

1. Баркан В. Ф., Жданов В. К. Радиоприемные устройства. М.: Сов. радио, 1972. 576 с. 2. Фельштейн А. П., Явич Л. Р., Смирнов В. П. Справочник по элементам волноводной техники. М.: Сов. радио, 1967. 651 с. 3. Чупров И. И. Классификация схем мостовых соединений // Вопр. радиоэлектроники. Сер. Радиоизмер. техника. 1971. Вып. 6. С. 44—55. 4. Широкополосные радиопередающие устройства / Под ред. Алексеева. М.: Связь, 1978 304 с.

Поступила в редколлегию 15.09.86

УДК 621.396

В. П. ГУДЗЮК, П. М. ПОВИДАЙКО, инженеры

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОРНОГО ГЕНЕРАТОРА НА ПОЛОСУ УДЕРЖАНИЯ СИСТЕМЫ ФАПЧ С ДПКД

Успехи в разработке быстродействующих цифровых интегральных микросхем привели к широкому применению в технике синтеза частот схем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), в которые включается делитель частоты с перемен-

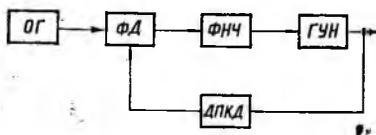


Рис. 1. Структурная схема системы ФАПЧ с ДПКД:

ОГ — опорный генератор; ГУН — генератор, управляемый напряжением; ФД — фазовый детектор; ДПКД — делитель частоты с переменным коэффициентом деления; ФНЧ — фильтр нижних частот

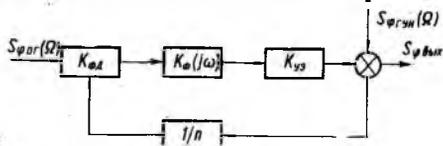


Рис. 2. Структурная схема системы ФАПЧ с ДПКД для расчета спектральной плотности мощности фазовых шумов

ным коэффициентом деления (ДПКД). Основные вопросы построения системы ФАПЧ с ДПКД в технической литературе рассмотрены достаточно подробно. Однако шумовые характеристики таких систем синтеза частот изучены недостаточно подробно. Представляет интерес оценить влияние характеристик опорного генератора на полосу удержания систем ФАПЧ с ДПКД и определить условия, ограничивающие величину оптимальной полосы удержания при минимальном зна-

чении распределения спектральной плотности мощности (СПМ) фазовых флуктуаций.

Рассуждения будем вести для обобщенной системы ФАПЧ с ДПКД, структурная схема которой приведена на рис. 1.

Спектральные характеристики выходного сигнала системы ФАПЧ определяются уровнем распределения СПМ фазовых флуктуаций сигналов ОГ и ГУН. Структурная схема системы ФАПЧ, учитывающая СПМ фазовых флуктуаций входных сигналов, приведена на рис. 2. Как показано в работе [3], передаточная функция замкнутой системы ФАПЧ по фазовым флуктуациям сигнала ОГ имеет вид

$$W_1(j\omega) = \frac{[K_{ФД}K_{Ф}(j\omega)K_{Уз}]/j\omega}{1 + \frac{K_{ФД}K_{Ф}(j\omega)K_{Уз}}{j\omega n}}, \quad (1)$$

где $K_{ФД}$ — крутизна нормированной характеристики ФД; $K_{Ф}(j\omega)$ — передаточная функций ФНЧ; $K_{Уз}$ — крутизна управляющего элемента ГУН; ω — текущее значение частоты; n — коэффициент деления ДПКД.

Обозначим

$$K_{ФД}K_{Ф}(j\omega)K_{Уз} = \Delta\omega_{уд}, \quad (2)$$

где $\Delta\omega_{уд}$ — полоса удержания системы ФАПЧ.

Преобразуем выражение (1) с учетом (2) к виду

$$W_1(j\omega) = n/(1 + (j\omega n/\Delta\omega_{уд})). \quad (3)$$

Запишем передаточную функцию системы ФАПЧ по фазовым флуктуациям сигнала ГУН с учетом (2)

$$W_2(j\omega) = 1/(1 + (\Delta\omega_{уд}/j\omega n)). \quad (4)$$

Распределение СПМ выходного сигнала под воздействием на систему ФАПЧ фазовых флуктуаций сигнала ОГ определяется выражением

$$S'_{Фвых}(\Omega) = S_{ФОГ}(\Omega) |W_1(j\omega)|^2, \quad (5)$$

где $S_{ФОГ}(\Omega)$ — распределение СПМ фазовых флуктуаций сигнала ОГ; Ω — величина расстройки от несущей частоты.

С учетом (3) выражение (5) принимает вид

$$S'_{Фвых}(\Omega) = S_{ФОГ}(\Omega) \left(n^2 / \left(1 + \frac{\omega^2 n^2}{\Delta\omega_{уд}^2} \right) \right). \quad (6)$$

Распределение СПМ выходного сигнала при расстройках от несущей, соответствующее выражению (6), показано на рис. 3 (кривая 2).

Распределение СПМ выходного сигнала под воздействием на систему ФАПЧ фазовых флуктуаций сигнала ГУН определяется выражением

$$S''_{Фвых}(\Omega) = S_{ФГУН}(\Omega) |W_2(j\omega)|^2, \quad (7)$$

где $S_{\varphi \text{ ГУН}}(\Omega)$ — распределение СПМ фазовых флуктуаций сигнала ГУН. С учетом (4) выражение (7) принимает вид

$$S_{\varphi \text{ вых}}^*(\Omega) = S_{\varphi \text{ ГУН}}(\Omega) \left(1/1 + \frac{\Delta\omega_{\text{уд}}^2}{\omega^2 n^2} \right). \quad (8)$$

Распределение СПМ выходного сигнала при расстройках от несущей, соответствующее выражению (8), показано на рис. 3 (кривая 3).

Как описано в работе [4], минимальное значение результирующей характеристики распределения СПМ фазовых флуктуаций выходного сигнала (кривая 4 (рис. 3)) можно получить при условии, что при расстройках от несущей до точки пересечения характеристик 2 и 3 (точка А) распределение СПМ выходного сигнала определяется влиянием ОГ, а за точкой пересечения — влиянием сигнала ГУН. Этому условию соответствует оптимальное значение полосы удержания ФАПЧ ($\Delta\omega_{\text{уд}} = \Delta\omega_{\text{уд опт}}$) и расстройка от несущей частоты равна граничной частоте пропускания системы ($\Omega = \Omega_{\text{гр}}$) приведенной к ФД.

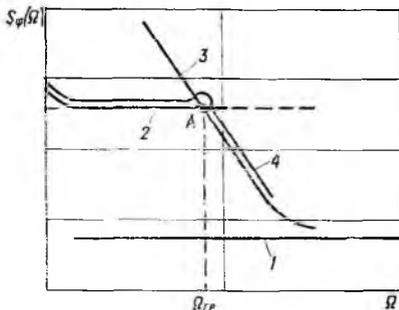


Рис. 3. Графики распределения спектральной плотности мощности фазовых шумов

полосы пропускания системы ($\Omega = \Omega_{\text{гр}}$) приведенной к ФД. В точке А пересечения кривых 2 и 3 выполняется условие

$$S_{\varphi \text{ вых}}^*(\Delta\omega_{\text{уд опт}}) = S_{\varphi \text{ вых}}^*(\Delta\omega_{\text{уд опт}}). \quad (9)$$

С учетом (6) и (8) из выражения (9) можно получить

$$\begin{cases} S_{\varphi \text{ ОГ}}(\Delta\omega_{\text{уд опт}})n^2 = S_{\varphi \text{ ГУН}}(\Delta\omega_{\text{уд опт}}); \\ \Delta\omega_{\text{уд опт}} = n\Omega_{\text{гр}}. \end{cases} \quad (10)$$

Как показано в работе [2], характеристика распределения СПМ фазовых шумов сигнала ОГ (кривая 1 (рис. 3)) в области значительных расстроек от несущей (свыше 3 кГц) имеет равномерное распределение, равное шумовому пьедесталу, поэтому можем принять значение

$$S_{\varphi \text{ ОГ}}(\Delta\omega_{\text{уд опт}}) = S_{\text{о.ог}}. \quad (11)$$

В области расстроек от несущей свыше 10 кГц, где влияние фликкершума незначительное, характеристика распределения СПМ фазовых шумов определяется выражением [1]

$$S_{\varphi \text{ ГУН}}(\Omega) = S_{\text{о.гун}} \left[1 + \left(\frac{\omega_{\text{ГУН}}}{2Q\Omega} \right)^2 \right], \quad (12)$$

где $S_{\text{огун}}$ — распределение СПМ шумового пьедестала в сигнале ГУН; $\omega_{\text{гун}}$ — несущая частота ГУН; Q — нагруженная добротность резонансного контура ГУН.

В связи с тем, что в системе ФАПЧ всегда выполняется условие $\omega_{\text{гун}}/2Q \gg \Delta\omega_{\text{уд опт}}$, для $\Omega = \Delta\omega_{\text{уд опт}}$ выражение (12) принимает вид

$$S_{\phi \text{ гун}}(\Delta\omega_{\text{уд опт}}) = S_{\text{огун}} \frac{\omega_{\text{гун}}^2}{4Q^2 \Delta\omega_{\text{уд опт}}^2} \quad (13)$$

С учетом (11) и (13) получим окончательное выражение для оптимальной полосы удержания

$$\Delta\omega_{\text{уд опт}} = \omega_{\text{ог}}/2Q \sqrt{S_{\text{огун}}/S_{\text{ог}}} \quad (14)$$

Из выражения (14) видно, что оптимальное значение полосы удержания ФАПЧ не зависит от значения частоты ГУН и коэффициента деления ДПКД. Величина оптимальной полосы удержания прямо пропорциональна частоте опорного генератора и обратно пропорциональна корню квадратному из уровня распределения СПМ шумового пьедестала сигнала опорного генератора.

1. *Иноземцев И. М., Гаврилюк Я. Д.* Спектры флуктуаций фазы транзисторных автогенераторов // Тр. МИРЭА. 1975. Вып. 79. С. 43—55. 2. *Рыжков А. В., Кремнев О. В.* О кратковременной стабильности частоты кварцевых генераторов метровых волн // Радиотехника. 1976. № 12. С. 49—52. 3. *Яшин В. Ш.* Влияние шумов перестраиваемого и опорного генераторов на спектр выходного сигнала системы ИФАПЧ с ДПКД // Радиоприборостроение и микроэлектроника. 1975. Вып. 4. С. 20—24. 4. *Ribour J.* Noise characteristics in Synthesizers for Mobile Transmitter Receivers // Electrical Communication. 1972. Vol. 47, N 7. P. 117—126.

Поступила в редколлегию 15.09.86