

УДК 621.376, 004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАКТА АНАЛОГОВОЙ КВАДРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

А.Е. Курочкин

УО «Белорусский государственный университет информатики и радиозлектроники», Минск, Беларусь

Целью моделирования является выявление возможных последствий от воздействия сигналов с частотами зеркальных каналов на аналоговый тракт с квадратурной обработкой при низкой промежуточной частоте.

Комплексное представление сигналов с помощью квадратурных составляющих позволяет работать с квадратурным преобразователем частоты (формирователем квадратурных составляющих на промежуточной частоте) как с устройством, формирующим положительные и отрицательные частоты от основного и зеркального каналов в соответствии с выражениями:

$$\begin{aligned} \dot{U}_c \times \dot{U}_r &= U_c e^{j\omega_c} \times U_r e^{-j\omega_r} = U_c U_r e^{j(\omega_c - \omega_r)} = U_c U_r e^{-j\omega_{пч}}; \\ \dot{U}_{сзк} \times \dot{U}_r &= U_{сзк} e^{j(\omega_c + 2\omega_{пч})} \times U_r e^{-j\omega_r} = U_{сзк} U_r e^{j(\omega_c - \omega_r + 2\omega_{пч})} = U_{сзк} U_r e^{j\omega_{пч}}, \end{aligned}$$

где \dot{U}_c - комплексный входной сигнал с частотой ω_c , \dot{U}_r - комплексный сигнал гетеродина с частотой ω_r , $\dot{U}_{сзк}$ - комплексный входной сигнал зеркального канала с частотой, при верхнем преобразовании отличной от частоты ω_c на удвоенную величину промежуточной частоты $\omega_{пч} = \omega_r - \omega_c$.

В англоязычной литературе для описания комплексных сигналов применяется математический объект, именуемый фазором от английского слова «phasor» [1]. На рис. 1 представлены два комплексно-сопряжённых фазора, формируемые на выходе комплексного преобразователя частоты (ПЧ).

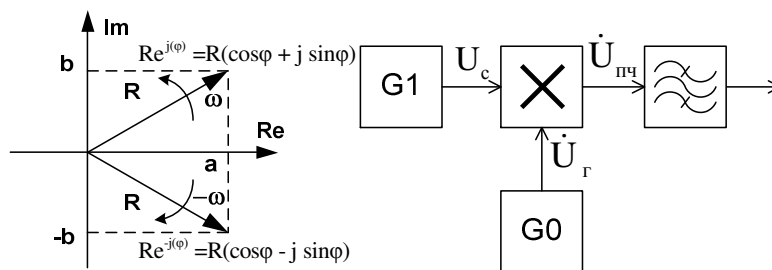


Рис.1 Формирование комплексно-сопряжённых сигналов в ПЧ

Применяя далее в аналоговом тракте структуры, выполняющие перемножение и фильтрацию комплексных сигналов, можно осуществлять обработку сигналов на промежуточной частоте с целью подавления

результатов преобразования зеркального канала. Например, алгоритм перемножения комплексных величин выглядит так:

$$\dot{X} \dot{Y} = (x_{re} + jx_{im})(y_{re} + jy_{im}) = (x_{re} y_{re} - x_{im} y_{im}) + j(x_{im} y_{re} + x_{re} y_{im}).$$

После перемножения комплексно-сопряжённых фазоров и сигнала гетеродина во втором преобразователе с нулевой промежуточной частотой получаем на выходе тракта:

$$u_{\text{вых зк}}(t) = U_{\text{пч зк}} e^{j\omega_{\text{пч}} t} \cdot U_{\text{мг}} e^{j\omega_{\text{пч}} t} = U_{\text{пч зк}} U_{\text{мг}} e^{j2\omega_{\text{пч}} t};$$

$$u_{\text{вых с}}(t) = U_{\text{пч с}} e^{-j\omega_{\text{пч}} t} \cdot U_{\text{мг}} e^{j\omega_{\text{пч}} t} = U_{\text{пч с}} U_{\text{мг}} e^0 = U_{\text{пч с}} U_{\text{мг}}.$$

Из полученных выражений видно, что на выходе второго комплексного преобразователя происходит распределение составляющих сигнала полезного и зеркального каналов по различным частотным областям. Входной сигнал основного канала подвергается переносу в область низких частот, а сигнал зеркального канала попадает в область удвоенной промежуточной частоты. Если сигнал основного канала представляет собой амплитудно-модулированное колебание, то происходит его детектирование. Фактически - это комплексный синхронный детектор амплитудно-модулированных сигналов, в котором в отличие от известного синхронного детектора нет детектирования сигнала зеркального канала.

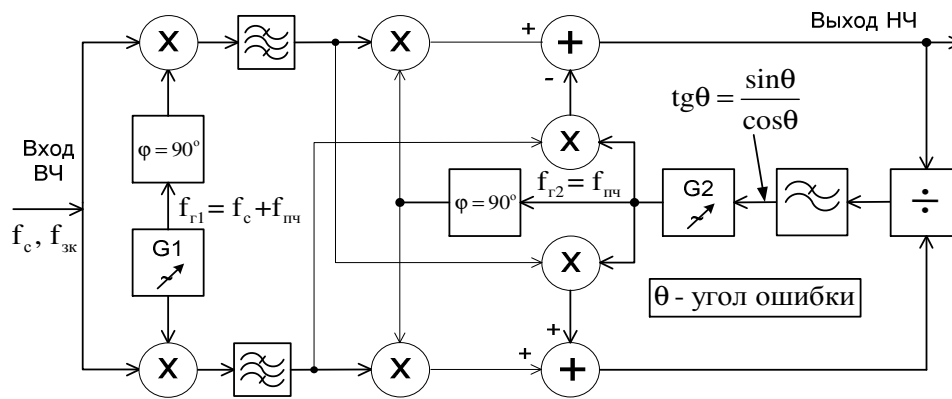


Рис. 2 Структурная схема тракта квадратурной обработки

Структура моделируемого тракта формирования и обработки комплексно-сопряжённых сигналов, содержащая два преобразователя, представлена на рис. 2 и полностью совпадает со структурой Уивера (Weaver) с подавлением зеркального канала [2].

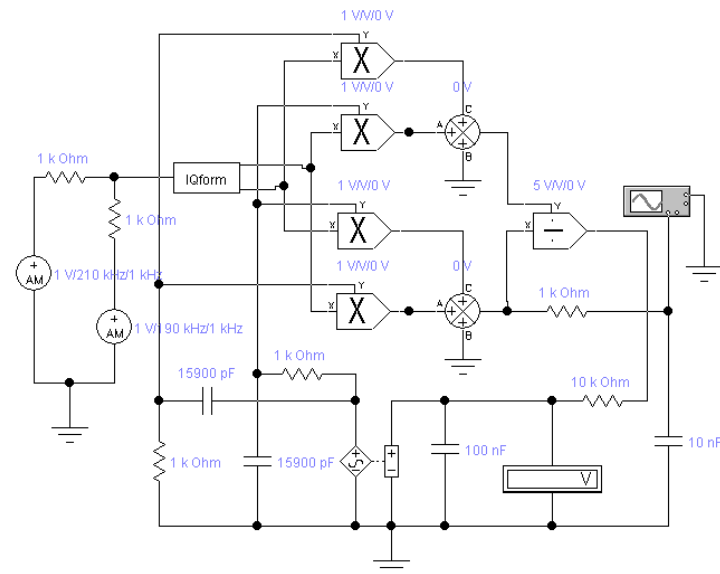


Рис. 3 Модель тракта в программе Electronics WorkBench

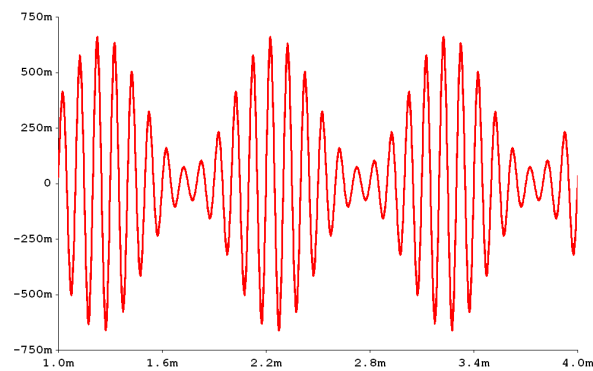


Рис. 4 Осциллограмма сигнала на промежуточной частоте 10 кГц

Известным недостатком преобразователя Уивера является наличие дополнительного второго зеркального канала, который в данном случае отсутствует, т.к. вторая промежуточная частота равна нулю.

Формирование опорного сигнала второго гетеродина реализовано с помощью петли фазовой автоподстройки Костаса [3], содержащей устройство расчёта тангенса угла ошибки (на схеме представлено делителем). Это позволило устранить зависимость сигнала ошибки от амплитуды сигналов в квадратурных каналах.

При моделировании в программе Electronics WorkBench (рис.3) на входе второго комплексного преобразователя формировались комплексно-сопряжённые фазоры на низкой промежуточной частоте 10 кГц (рис.4). Осциллограммы результатов преобразования на выходе тракта представлены на рис.5 для полезного сигнала и на рис.6 для сигнала зеркального канала.

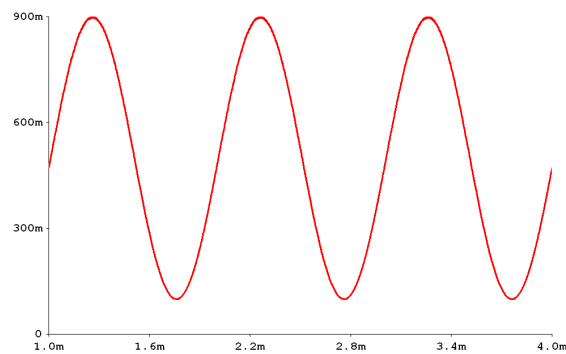


Рис. 5 Оциллограмма выходного сигнала для основного канала

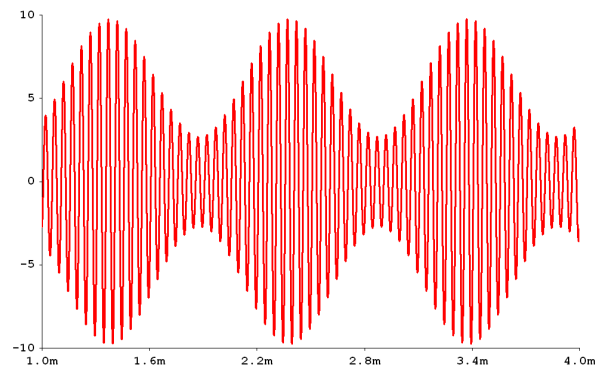


Рис. 6 Оциллограмма выходного сигнала для зеркального канала

Как видно из результатов моделирования, на зеркальном канале демодуляция сигнала не происходит, но наличие интенсивного модулированного колебания на частоте 20 кГц свидетельствует о том, что проблема зеркального канала, всё-таки, остаётся. Выбор очень низкой промежуточной частоты в данном случае нецелесообразен, так как может вызвать определённые затруднения при реализации выходного аналогового фильтра, обеспечивающего требуемую избирательность. Если же выбор делается в пользу низкой промежуточной частоты, то зеркальный канал должен быть устранён до второго преобразователя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Phasor (sine waves) [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Phasor_\(electronics\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Phasor_(electronics)).
2. Laskar J., Matinpour B., Chakraborty S. Modern receiver front-ends: Systems, Circuits, and Integration. John Wiley, Inc. - 2004. - 240 p.
3. Eric Hagemann. The Costas Loop – An Introduction [Электронный ресурс]. - 2001. Режим доступа: <http://ecow.engr.wisc.edu/cgi-bin/get/ece/438/vanveen/labmanual/costasreceiver.pdf>.