

В.А. Солнцев, А.И. Шульга

Московский государственный институт электроники и математики,
e-mail: shhl3@mail.ru

**КВАЗИСТАЦИОНАРНЫЙ АНАЛИЗ ПОДАВЛЕНИЯ
НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ В СВЧ УСИЛИТЕЛЯХ
С ПОМОЩЬЮ КОРРЕКЦИИ ПО ОГИБАЮЩЕЙ СИГНАЛА**

V.A. Solntcev, A.I. Shulga

Moscow State Institute of Electronics and Mathematics

**QUASISTATIONARY ANALYSIS OF THE SUPPRESSION OF NONLINEAR
DISTORTIONS IN MICROWAVE AMPLIFIERS WITH CORRECTION OF
SIGNAL ENVELOPE**

The nonlinear distortion level of signals in a microwave amplifier in the case of a cubic polynomial approximation of its characteristic is considered. The application opportunity of the additive feedback or constant feedback with signal envelope using is demonstrated.

Борьба с нелинейными искажениями сигналов в усилителях является важной задачей при решении проблемы увеличения количества передаваемой информации на единицу ширины спектра сигнала, к тому же наличие комбинационных составляющих на выходе усилителя может привести к нарушению связи в соседних каналах. Поэтому актуальной задачей является разработка методов анализа и подавления нелинейных искажений. Целью данной работы является исследование метода подавления нелинейных искажений с помощью дополнительного сигнала, имеющего частоту огибающей.

Рассматриваем аппроксимацию передаточной характеристики усилителя полиномом третьей степени с коэффициентами a_0, a_1, a_2, a_3 . При работе усилителя в двухчастотном режиме и воздействии на вход усилителя тестового сигнала (амплитуды входных сигналов равны друг другу, начальные фазы также равны друг другу) для оценки уровня полезных сигналов и комбинационных составляющих третьего порядка могут быть использованы следующие выражения [1]:

$$A_{\text{вых}} = a_1 \cdot A_{\text{вх}} - \frac{3}{4} \cdot |a_3| \cdot A_{\text{вх}}^3, A_{\text{вых,кц3}} = \frac{3}{4} \cdot |a_3| \cdot A_{\text{вх}}^3, \quad (1)$$

где $A_{\text{вых}}$ -амплитуда полезного сигнала на выходе, $A_{\text{вых,кц}}$ -амплитуда комбинационной составляющей третьего порядка, а $A_{\text{вх}}$ - амплитуда входного сигнала. В нормированном виде выражения (1) имеют вид [2]:

$$Y = 1,5 \cdot X - 0,5X^3, Y_{\text{кц3}} = \frac{1}{6} \cdot X^3, \quad (2)$$

где

$$Y = \frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вых.нас}}}, X = \frac{A_{\text{вх}}}{A_{\text{вх.нас}}}, Y_{\text{кз3}} = \frac{A_{\text{вых.кз3}}}{A_{\text{вых.нас}}}, A_{\text{вх.нас}} = \sqrt{\frac{4}{27} \cdot \frac{a_1}{|a_3|}}, A_{\text{вых.нас}} = \frac{2}{3} \cdot a_1 \cdot \sqrt{\frac{4}{27} \cdot \frac{a_1}{|a_3|}}, \quad (3)$$

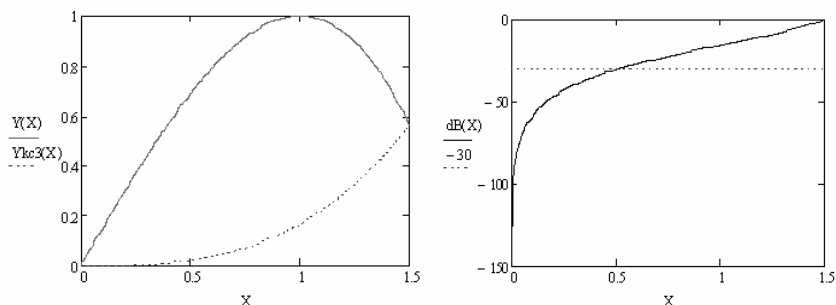


Рис. 1. Универсальные характеристики для полезных сигналов, комбинационных составляющих третьего порядка; относительный уровень комбинационных составляющих третьего порядка

Уровень комбинационных составляющих третьего порядка возрастает с увеличением входного сигнала. В точке насыщения, где $X=1$, он равен -12 дБ, то есть для уменьшения комбинационных составляющих третьего порядка до уровня -30 дБ необходимо понизить уровень входного сигнала вдвое, что нежелательно.

Уменьшение вредных высокочастотных комбинационных составляющих сигналов третьего порядка усилительного устройства может быть достигнуто с помощью низкочастотной обратной связи, применение которой экспериментально исследовано в [3].

Идея подавления состоит в следующем (рис. 3): сигнал, частота которого $\Delta \omega$ представляет собой разность частот полезных сигналов, примешивается к полезным сигналам на входе, т.е. на входе имеем многочастотный сигнал (частоты исходных полезных сигналов и $\Delta \omega$).

$$U_{\text{вх}}(t) = U_1 \cos(\omega_1 t) + U_2 \cos(\omega_2 t) + U_{oc} \cos(\Delta \omega t + \pi)$$

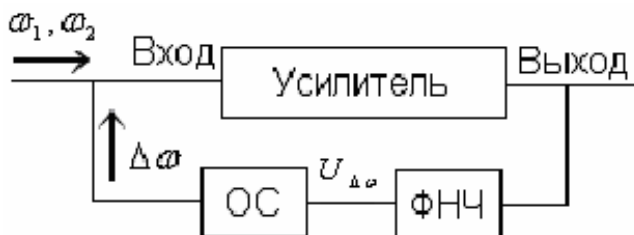


Рис. 2. Блок-схема усилителя СВЧ с низкочастотной обратной связью по огибающей

В общем случае считаем $U_1 \neq U_2$. Наличие низкой частоты на входе приводит на выходе к изменению комбинационных составляющих третьего порядка, отстоящих от полезных сигналов на $\Delta\omega$. Подбором величины сигнала U_{oc} , передаваемого через низкочастотную обратную связь, можно добиться подавления комбинационных составляющих третьего порядка.

После преобразования на характеристике усилителя получим выражение для амплитуды сигнала U_{oc} , передаваемого через отрицательную обратную связь и обеспечивающего полное подавление одной комбинационной составляющей третьего порядка:

$$U_{oc} = \frac{a_2 U_2 - \sqrt{a_2^2 U_2^2 - \frac{9}{4} a_3^2 U_1^2 U_2^2}}{\frac{3}{2} a_3 U_1}. \quad (4)$$

При этом необходима адаптивная обратная связь ($U_{oc} = \beta_{ad} U_{\Delta\omega}$) с коэффициентом передачи:

$$\beta_{ad} = \frac{U_{oc}}{U_1 \left(a_2 + 3 \cdot |a_3| \cdot U_{oc} \right) - U_{oc} \left(a_1 - \frac{3}{4} \cdot |a_3| \cdot U_{oc}^2 \right)}.$$

Когда по адаптивной обратной связи передается лишь часть напряжения, необходимого для полного подавления комбинационной составляющей третьего порядка (коэффициент передачи подавляющего напряжения β), то:

$$U_{oc}^I = \beta \cdot U_{oc}. \quad (5)$$

Вводя нормировку в виде:

$$X_1 = \frac{a_2}{a_1} \cdot U_1, X_2 = \frac{a_2}{a_1} \cdot U_2, X_{oc} = \left| \frac{a_3}{a_2} \cdot U_{oc} \right|, \alpha = \frac{a_1 \cdot |a_3|}{a_2^2}, \quad (6)$$

где α -параметр нелинейности, получим относительный уровень комбинационных составляющих третьего порядка:

$$dB_{oc}(X_1, X_{oc}, \alpha, \beta) = 20 \cdot \lg \left| \frac{\frac{3}{4} \cdot \alpha \cdot X_1^2 + \frac{3}{4} \cdot \frac{\beta^2}{\alpha} \cdot (X_{oc})^2 - \frac{\beta}{\alpha} \cdot X_{oc}}{\frac{9}{4} \cdot \alpha \cdot X_1^2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\beta^2}{\alpha} \cdot (X_{oc})^2 - \frac{\beta}{\alpha} \cdot X_{oc} + 1} \right|, \quad (7)$$

$$\text{где } X_{oc}(X_1, \alpha) = \frac{2}{3} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{9}{4} \cdot \alpha^2 \cdot X_1^2} \right). \quad (8)$$

При постоянном петлевом коэффициенте передачи $\beta_{\Pi} = a_1 \cdot \beta_{oc}$:

$$dB_{oc}(X_1, X_{oc}, \alpha, \beta_{\Pi}) = 20 \cdot \lg \left| \frac{-\frac{3}{4} \cdot \alpha \cdot X_1^2 - \frac{3}{4} \cdot (X_{oc})^2 - \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \cdot X_{oc}}{-\frac{9}{4} \cdot \alpha \cdot X_1^2 - \frac{3}{2} \cdot (X_{oc})^2 - \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \cdot X_{oc} + 1} \right|, \quad (9)$$

причем:

$$X_{oc}(X_1, \alpha, \beta_{II}) = \sqrt[3]{\frac{2}{3} \cdot \left(-\sqrt{\alpha} \cdot X_1^2 + \sqrt{-\left(\frac{4}{9}\right)^2 \cdot \left[\frac{1}{\beta_{II}} + 1 - 3\alpha X_1^2\right]^3 + \alpha X_1^4} \right)} + \\ + \sqrt[3]{\frac{2}{3} \cdot \left(-\sqrt{\alpha} \cdot X_1^2 - \sqrt{-\left(\frac{4}{9}\right)^2 \cdot \left[\frac{1}{\beta_{II}} + 1 - 3\alpha X_1^2\right]^3 + \alpha X_1^4} \right)}.$$

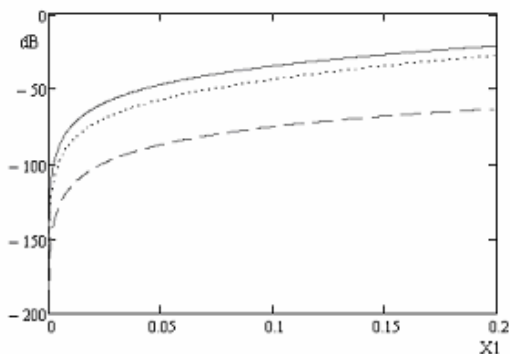


Рис. 3. Относительный уровень комбинационных составляющих третьего порядка
 _____ без ОС, с постоянной ОС, - - - - с адаптивной ОС

На рис. 3 представлен график зависимости относительного уровня комбинационных составляющих третьего порядка в зависимости от вида ОС. Итак, при постоянной ОС относительный уровень может быть снижен на (2-7) дБ, а в случае адаптивной (5-11) дБ.

Библиографический список

1. Малышенко В.И. Нелинейный анализ многочастотных режимов работы ЛБВ при близких частотах / В.И. Малышенко, В.А. Солнцев // Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ. 1972. Вып. 10. С. 16-26.
2. Солнцев В.А. Анализ преобразования сигналов с несколькими несущими в мощной ЛБВ / В.А.Солнцев, Т.М. Андреевская // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 1997. Вып. 1 (469). С. 205-213.
3. Дутышев В.И. 100-Ваттный усилитель мощности с уменьшенным уровнем интермодуляционных искажений и защитой выходных транзисторов от пробоя при работе в двухсигнальном режиме / В.И. Дутышев // Электронная техника. Серия 1. СВЧ-техника. 2007. Вып. 4 (492). С. 118-122.