

А. А. ВОРОНИН, В. Д. ВЯЗЕЛЕНКО, А. Г. ГОРДИЕНКО

АНАЛИЗ УСИЛИТЕЛЯ С ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ АМПЛИТУДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Усилители с логарифмической амплитудной характеристикой (л. а. х.) используются для решения целого ряда задач практической радиотехники. Применение таких усилителей в измерительных приборах дает возможность существенно расширить шкалы приборов, предназначенных для измерения быстро меняющихся в широком динамическом диапазоне электрических величин; в радиолокационных приемниках — приемники не перегружаются сигналами, отраженными даже от близко расположенных объектов; в специальных системах связи, в частности

с быстродвижущимися объектами, где может происходить изменение интенсивности сигнала в широких пределах; в системах управления и защиты ядерных реакторов; в аналоговых вычислительных машинах; в системах накопления информации и т. д. Во всех случаях усилители с л. а. х., входящие в состав радиотехнических устройств, повышают эффективность их работы. Поэтому целесообразно рассмотреть основные качественные показатели усилителей с л. а. х. при усилении ими сигналов с амплитудной модуляцией.

Усилители с л. а. х. являются нелинейными устройствами, и вне зависимости от способа осуществления л. а. х. напряжение на выходе усилителя описывается [1] выражением

$$\dot{U}_{\text{вых}} = k_0 \dot{U}_{\text{вхн}} \left(a \ln \frac{\dot{U}_{\text{вх}}}{U_{\text{вхн}}} + 1 \right), \quad (1)$$

где $\dot{U}_{\text{вых}}$ — выходное напряжение усилителя;
 k_0 — максимальный коэффициент усиления усилителя (в линейном режиме);

$\dot{U}_{\text{вхн}}$ — входное напряжение, при котором начинается л. а. х. усилителя;

a — коэффициент, определяющий динамический диапазон усилителя по выходному напряжению;

$\dot{U}_{\text{вх}}$ — напряжение на входе усилителя.

С целью упрощения выкладок при анализе полагаем, что входной сигнал промодулирован одной частотой, а коэффициент модуляции меньше единицы ($m < 1$).

Подставляя значение $\dot{U}_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} (1 + m \cos x)$ в выражение (1), получаем

$$\dot{U}_{\text{вых}} = k_0 \dot{U}_{\text{вхн}} \left[a \ln \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вхн}}} + a \ln (1 + m \cos x) + 1 \right], \quad (2)$$

где $\dot{U}_{\text{вх}}$ — уровень несущей на входе усилителя.

Выражение (2) можно представить [2] в виде

$$\dot{U}_{\text{вых}} = d \left[a \ln \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{вхн}}} + a A_0 + 1 + a B_{1,n} \cos (2t - 1) x + \right. \\ \left. + a A_{1,n} \cos 2t x \right], \quad (3)$$

где A_0 , $B_{1,n}$, $A_{1,n}$ — коэффициенты, определяющие амплитудные значения спектральных составляющих огибающей сигнала на выходе усилителя с л. а. х. соответственно

$$A_0 = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{2n+1} \frac{m^{2n}}{2n} \cdot \frac{1}{2^{2n-1}} \binom{2n}{n} -$$

постоянной составляющей

$$B_{t,n} = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{2n} \frac{m^{2n-1}}{2n-1} \cdot \frac{1}{2^{2n-2}} \left(\frac{2n-1}{n-t} \right) -$$

нечетных гармоник;

$$A_{t,n} = \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{2n+1} \frac{m^{2n}}{2n} \cdot \frac{1}{2^{2n-1}} \left(\frac{2n}{n-t} \right) -$$

четных гармоник в функции от коэффициента глубины модуляции входного сигнала;

t — параметр, определяющий порядковые номера гармоник;

$d = k_0 U_{вхн}$ — параметр усилителя.

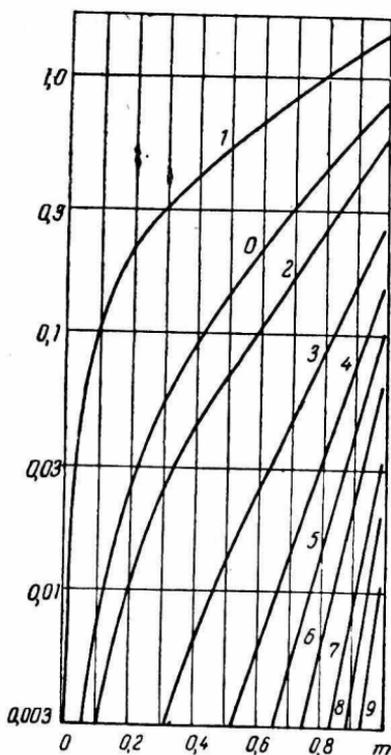


Рис. 1. Зависимость коэффициентов A_0 , $B_{t,n}$ и $A_{t,n}$ от коэффициента модуляции входного сигнала m (цифрами обозначены номера гармоник).

Значения коэффициентов A_0 , $B_{t,n}$ и $A_{t,n}$ рассчитаны на ЭВМ и в виде графиков представлены на рис. 1.

Используя полученные результаты по спектральному анализу огибающей на выходе усилителя с л. а. х., коэффициент гармоник находим из выражения

$$k_f = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^{n-1} (B_{t,n}^2 + A_{t,n}^2)}}{B_{1,n}} - 1, \quad (4)$$

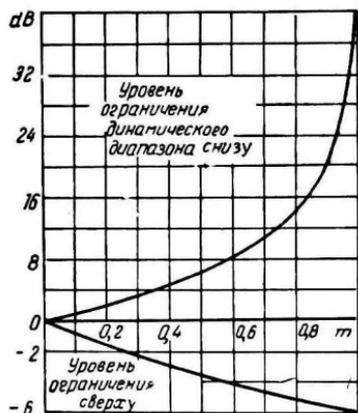


Рис. 2. Графики для определения сужения динамического диапазона усилителя с л. а. х.

где $B_{1,n}$ — коэффициент, определяющий уровень первой гармоники огибающей на выходе усилителя.

При малых значениях коэффициента модуляции входных сигналов, нелинейные искажения огибающей а. м. сигнала определяются в основном четными гармониками, в частности второй гармоникой как наиболее весомой в спектре сигнала. По мере увеличения коэффициента модуляции до единицы возрастает и роль нечетных гармоник в нелинейных искажениях огибающей. Приводимые расчеты будут справедливы, если огибающая полностью лежит на участке л. а. х. усилителя [3]. Зная границы л. а. х. усилителя, можно определить минимальные и максимальные предельно допустимые значения уровней несущей на входе усилителя при различных коэффициентах глубины модуляции.

Минимальные значения несущей входных сигналов $U_{вх\min}$ определяются из выражения

$$U_{вх\min} = \frac{U_{вхн}}{1-m}, \quad (5)$$

а максимальные значения несущей входных сигналов $U_{вх\max}$ из выражения

$$U_{вх\max} = \frac{U_{вхн}}{1+m}, \quad (6)$$

где $U_{вхн}$ — входное напряжение, при котором заканчивается л. а. х. усилителя.

Сужение границ динамического диапазона усилителя с л. а. х. в зависимости от коэффициента глубины модуляции входного сигнала рассчитано по приведенным формулам (5), (6), а в виде графика представлено на рис. 2.

Для решения вопроса о коэффициенте глубины модуляции выходного сигнала [4] приведем выражение (3) к нормальному виду:

$$U_{вых} = d \left(a \ln \frac{U_{вх}}{U_{вхн}} + a A_0 + 1 \right) [1 + m_{2t} \cos 2tx + m_{2t-1} \cos(2t-1)x], \quad (7)$$

где $d \left(a \ln \frac{U_{вх}}{U_{вхн}} + a A_0 + 1 \right)$ — уровень несущей на выходе усилителя;

m_{2t} , m_{2t-1} — частичные, или парциальные, коэффициенты модуляции выходного сигнала, соответственно

$$m_{2t} = \frac{a A_{t,n}}{a \left(\ln \frac{U_{вх}}{U_{вхн}} + A_0 \right) + 1}$$

четных гармоник;

$$m_{2l-1} = \frac{a B_{l,n}}{a \left(\ln \frac{U_{вх}}{U_{вхн}} + A_0 \right) + 1} -$$

нечетных гармоник.

Частичные, или парциальные, коэффициенты модуляции сигнала на выходе усилителя с л. а. х. являются функциями уровня несущей на входе усилителя ($U_{вх}$), коэффициента модуляции несущей на входе усилителя (m), коэффициента, определяющего динамический диапазон усилителя по выходному напряжению (a).

Полученные результаты хорошо совпадают с экспериментальными данными и могут быть использованы при проектировании радиотехнических систем, в состав которых входят усилители с логарифмическими амплитудными характеристиками.

ВЫВОДЫ

1. В спектре огибающей выходного сигнала преобладает первая гармоника, а с увеличением коэффициента модуляции происходит насыщение спектра огибающей высшими гармоническими составляющими.

2. Зависимость $k_f = \psi(m)$ является нелинейной функцией коэффициента модуляции входного сигнала m .

3. Усилители с логарифмической амплитудной характеристикой сужают свой динамический диапазон в основном за счет ограничения снизу.

4. Коэффициент модуляции выходного сигнала первой гармоникой огибающей является практически линейной функцией m при малых его значениях (до 0,4—0,5), а при дальнейшем увеличении возрастает нелинейно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В. М. Логарифмические усилители. Киев, Гостехиздат УССР, 1962, с. 146—153.
2. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М., Физматгиз, 1963, с. 36—41.
3. Лукошкин А. П. Радиолокационные усилители с большим диапазоном входных сигналов. М., «Сов. радио», 1964, с. 201—209.
4. Зиновьев А. Л., Филиппов Л. И. Введение в теорию сигналов и цепей. М., «Высшая школа», 1968, с. 11—18.