

УДК 621.396

Д.А.Щетникова

АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ БЕРГА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ СИГНАЛА НА НЕЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Воронежский институт высоких технологий

В статье рассматривается задача воздействия импульсного сигнала на нелинейный элемент (транзисторный усилитель). Транзисторный усилитель является нелинейным элементом, и методология, которая рассматривается нами, может быть использована и для других нелинейных элементов, применяемых в приемно-передающих устройствах. Рассмотрен режим сильной нелинейности (АВ или В). Для вольт-амперной характеристики использована кусочно-линейная аппроксимация. Определены гармоники выходного тока, для этого мы воспользовались рядом Фурье. Выведены новые формулы для коэффициентов Берга, построены их графические зависимости для заданных параметров входного сигнала.

Ключевые слова: сигнал, нелинейное воздействие, коэффициент Берга.

При построении современных систем радиосвязи разработчикам приходится сталкиваться с множеством проблем. Среди них необходимо решать большое число задач, которые связаны с обеспечением электромагнитной совместимости (ЭМС) технических средств, что относится к возможностям таких средств одновременным образом работать для реальных условий эксплуатации при требуемом качестве, когда идет воздействие на них непреднамеренных электромагнитных помех, при этом не должны создаваться недопустимые электромагнитные помехи для других технических средств [1-3].

Любая из спектральных составляющих сигнала от передающего устройства по пути к приемному устройству проходит по фидерному тракту и антенне приемника, внешнему пространству между антеннами приемника и передатчика, антенну и фидерный тракт приемника. Должны обеспечиваться избирательные свойства трактов приемника и передатчиков.

Хотя, полностью транзисторные усилители для современного этапа развития радиоэлектроники используют довольно редко, но определенные каскады, например входные или выходные, которые строятся с применением транзисторов, можно встретить довольно часто [4].

Транзисторный усилитель является нелинейным элементом, и методология, которая рассматривается нами, может быть использована и для других нелинейных элементов, применяемых в приемно-передающих устройствах.

Целью данной работы является вывод новых выражений для коэффициентов Берга при импульсном воздействии на нелинейный элемент.

Когда усилитель работает в, так называемом режиме А (рис.1), то он функционирует без отсечки, то есть выходной ток не равен 0 для всего

периода входного тока. Но такой режим характеризуется относительно небольшим (менее 50%) КПД.

На практике используют режимы АВ и В (рис.2 и рис.3), в которых транзистором усиливается только одна полуволна гармонического колебания и происходит переход в режим отсечки сигнала.

В таких режимах КПД может быть на несколько десятков процентов больше.

Далее мы проведем гармонический анализ при прохождении сигнала через нелинейный элемент (транзисторный усилитель) [5-7].

Когда на нелинейный элемент воздействует сигнал, имеющий большую амплитуду и рабочая точка выбирается на нижнем изгибе вольт-амперной характеристики (ВАХ) в ряде случаев применяют ее кусочно-линейную аппроксимацию (рис. 1). В таком случае для аналитического выражения ВАХ записывают:

$$i = \begin{cases} 0, u < U_1 \\ S(u - U_1), u > U_1 \end{cases} \cdot (1)$$

Значение напряжения в рабочей точке равно U_0 , U_1 – является напряжением отсечки.

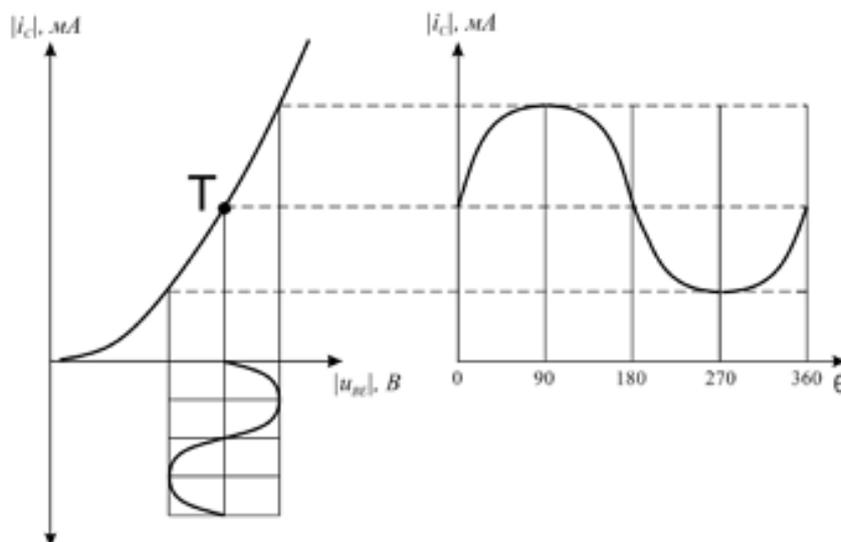


Рисунок 1

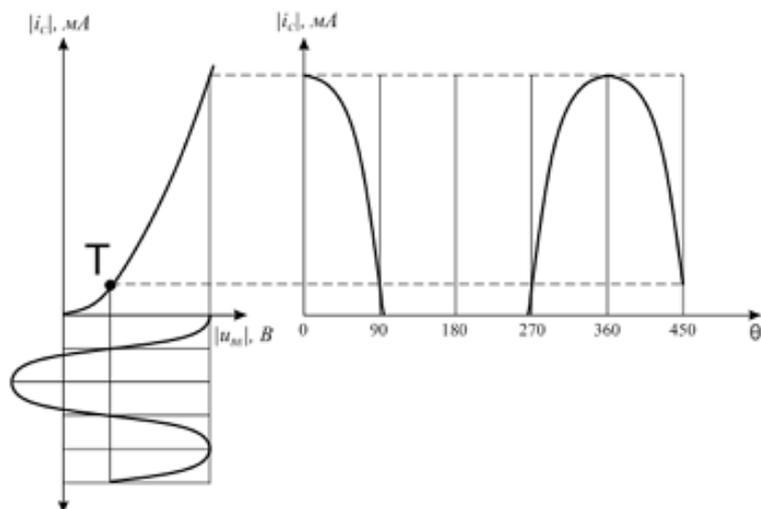


Рисунок 2

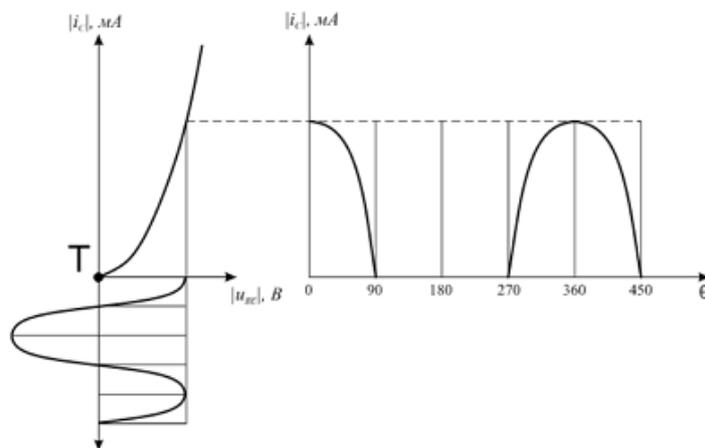


Рисунок 3

Входное воздействие на нелинейный элемент мы запишем в следующем виде:

$$u(t) = U_0 + s_{ex}(t), \quad (9)$$

$$\text{где } s_{ex}(t) = U_0 + \begin{cases} A, & 0 \leq t \leq \tau \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

Напряжение отсечки:

$$U_1 = U_0 + s_{ex}(\theta). \quad (2)$$

Тогда

$$U_1 - U_0 = s_{ex}(\theta). \quad (3)$$

Выходной ток рассчитывается следующим образом:

$$\begin{aligned} i(t) &= S(u - U_1)U_0 + s_{ex}(t) - U_1 = SE(s_{ex}(t) - \frac{U_1 - U_0}{E}) = \\ &= SE(s_{ex}(t) - \cos\theta), \text{ если } -\theta \leq \omega t \leq \theta. \quad (4) \end{aligned}$$

Амплитуда выходного тока

$$I_m = SE(A - \cos\theta). \quad (5)$$

Подставив в (12) значение SE , получим

$$i(t) = \frac{I_m}{A - \cos\theta} (s_{ex}(t) - \cos\theta). \quad (6)$$

Теперь определим гармоники выходного тока. Для этого воспользуемся рядом Фурье.

Амплитуды гармонических составляющих рассчитываются так (мы использовали таблицы интегралов [8]):

$$\begin{aligned} I_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i(t) dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\tau} \frac{I_m}{A - \cos\theta} (s_{ex}(t) - \cos\theta) d\omega_0 t = \\ &= \frac{I_m}{\pi(A - \cos\theta)} \int_0^{\theta} (s_{ex}(t) - \cos\theta) d\omega_0 t = \\ &= \frac{I_m}{\pi} \omega_0 \tau, \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{2}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i(\omega_0 t) \cos(\omega_0 t) d\omega_0 t = \\ &= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{I_m}{A - \cos\theta} (s_{ex}(t) - \cos\theta) \cos(\omega_0 t) d\omega_0 t = \end{aligned}$$

$$= \frac{2I_m}{\pi(A - \cos\theta)} \sin(\omega_0 \tau) \quad (8)$$

$$I_n = \frac{2}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i(t) \cos(n\omega_0 t) dt =$$

$$= \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} \frac{I_m}{A - \cos\theta} (s_{вх}(t) - \cos\theta) \cos(n\omega_0 t) d\omega_0 t =$$

$$= \frac{2I_m}{\pi(A - \cos\theta)} \frac{\sin(n\omega_0 \tau)}{n}. \quad (9)$$

Формулы (7), (8), (9), которые мы вывели, являются новыми. Далее приведем пример расчета коэффициентов Берга.

Пусть входной сигнал имеет следующие параметры: $A=1$, $U_0=2$, $\tau=1$, $\omega_0=10^3$ Гц. График сигнала (временная зависимость) приведен на Рисунке 4.

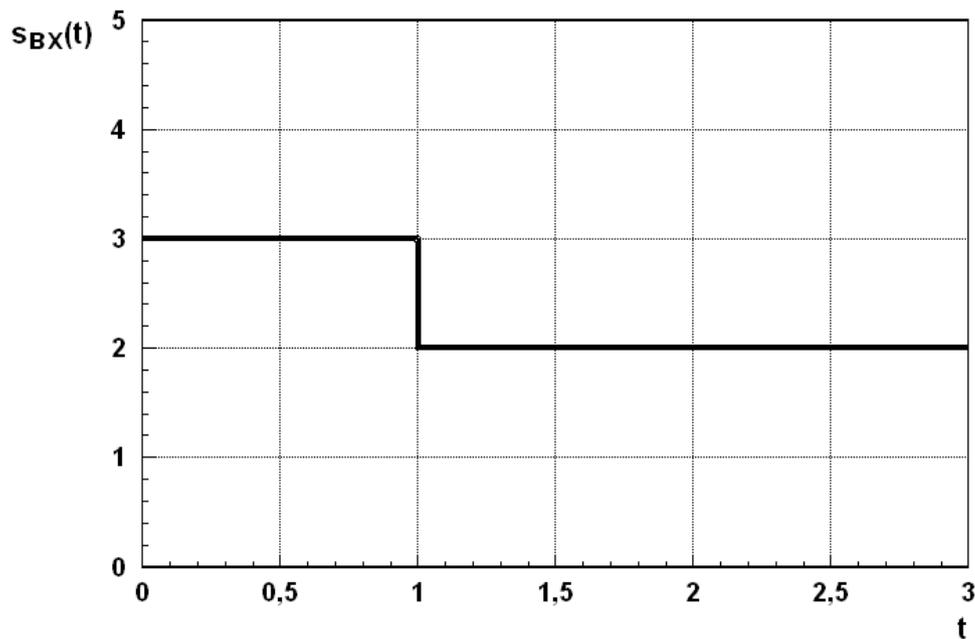


Рисунок 4

На Рисунках 5 и 6 приведены вычисленные нами коэффициенты Берга $\alpha_0(\theta)$, $\alpha_1(\theta)$, $\alpha_2(\theta)$, соответственно.

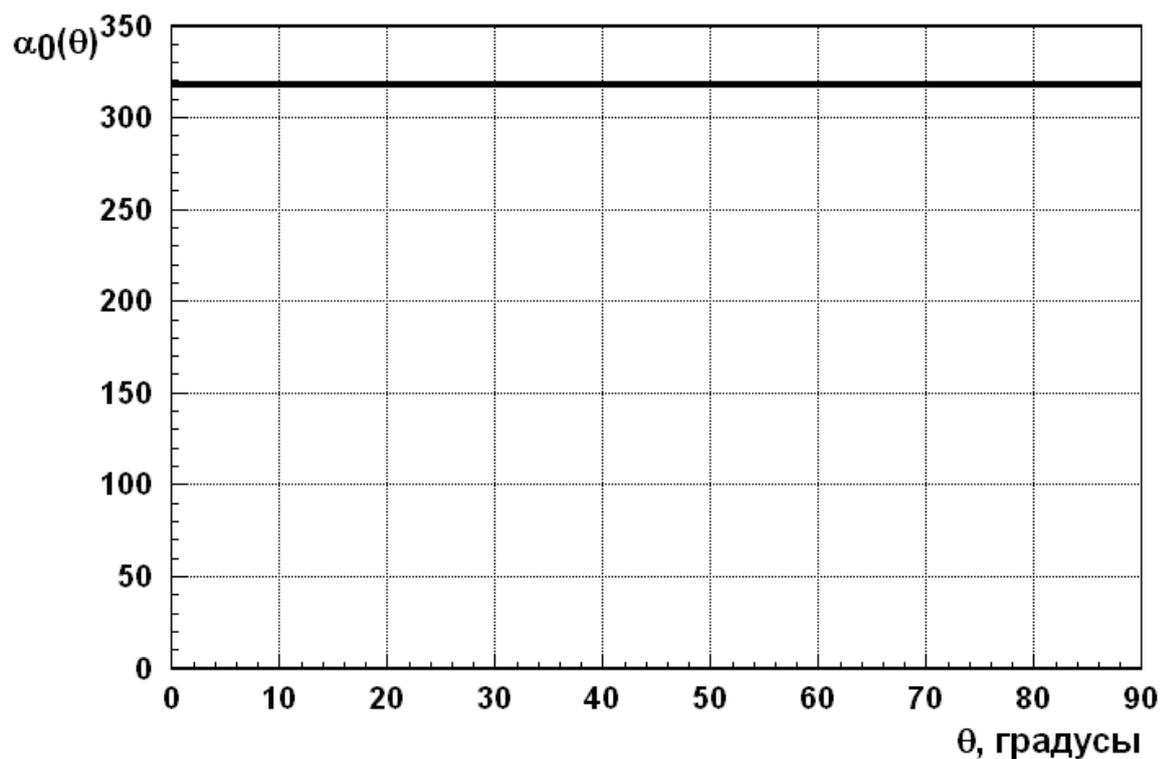


Рисунок 5

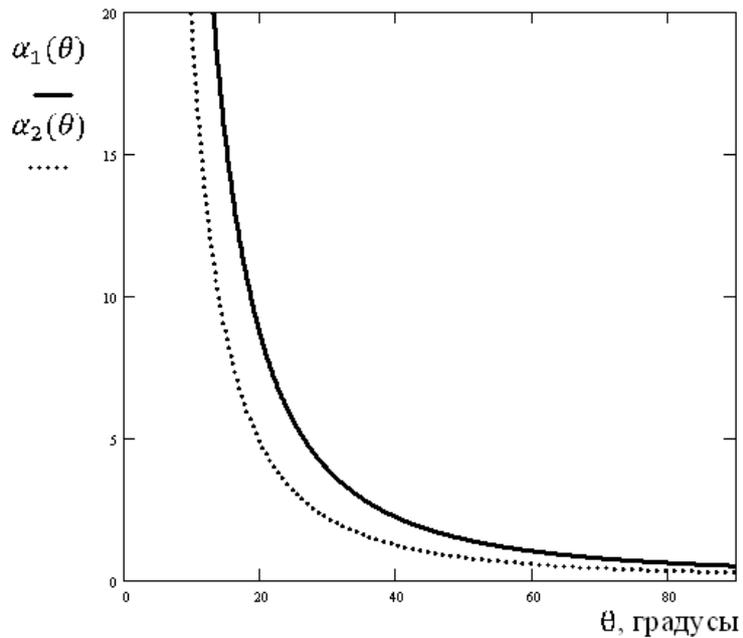


Рисунок 6

В заключение приведем основные данные об ученом, именем которого названы соответствующие функции или коэффициенты (в разных литературных источниках их называют по-разному) [9, 10].

Аксель Иванович Берг (29 октября (10 ноября) 1893, Оренбург - 9 июля 1979, Москва) - советский учёный радиотехник, адмирал-инженер, заместитель министра обороны СССР.

Академик АН СССР (1946, член-корреспондент с 1943). Член КПСС с 1944 года. Герой Социалистического Труда (1963).

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 50397-2011 (МЭК 60050-161:1990). Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.
2. Пудовкин, А.П. Электромагнитная совместимость и помехозащищённость РЭС : учебное пособие / А.П. Пудовкин, Ю.Н. Панасюк, Т.И. Чернышова. - Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2013. - 92 с. (<http://www.tstu.ru/book/elib2/pdf/2013/pudovkin3.pdf>).
3. Кульнева Е.Ю. О характеристиках, влияющих на моделирование радиотехнических устройств / Е.Ю.Кульнева, И.А.Гащенко // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-2. С. 50.
4. <http://www.electronicblog.ru/usilitel'naya-sxemotekhnika/vhodnye-usiliteli.html>.
5. <http://digteh.ru/Sxemoteh/RejRab/Berg/>.
6. Дахнович А.А. Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие / А.А. Дахнович. - Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. - 176 с. (http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2009/Dachnoc_c.pdf, пункт 7.1.2.).
7. Конспект лекций по курсу "Радиотехнические цепи и сигналы" / Сост. В.Г. Патюков Е.В. Патюков В.Б. Кашкин. - Красноярск.: СФУ, 2007. 200 с. http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/58/u_lectures.pdf (стр.140-141).
8. http://alexandr4784.narod.ru/gb_dwait.html.
9. <http://pomnipro.ru/memorypage14466/biography>.
10. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biography/10082/%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%B3.

D.A.Schetnikova

THE ANALYSIS OF THE COEFFICIENTS OF THE BERG WHEN EXPOSED TO PULSED SIGNAL TO THE NONLINEAR ELEMENT

Voronezh Institute of High Technologies

The paper considers the problem of the impact pulse signal by a nonlinear element (transistor amplifier). Transistor amplifier is a nonlinear element, and the methodology is considered, it can be used for other nonlinear elements used in transmitting and receiving devices. Considered the regime of strong nonlinearity (AB or A). For current-voltage characteristics used piecewise-linear approximation. Identified harmonics of the output current, we have used Fourier series. Derived new formulas for the coefficients of Berg built their graphic according to the specified parameters of the input signal.

Keywords: signal, non-linear effects, the coefficient Berg.

REFERENCES

1. GOST R 50397-2011 (MEK 60050-161:1990). Sovmestimost' tekhnicheskikh sredstv elektromagnitnaya. Terminy i opredeleniya.
2. Pudovkin, A.P. Elektromagnitnaya sovmestimost' i pomexozashchishchennost' RES : uchebnoe posobie / A.P. Pudovkin, Yu.N. Panasyuk, T.I. Chernyshova. - Tambov: Izd-vo FGBOU VPO "TGTU", 2013. - 92 p. (<http://www.tstu.ru/book/elib2/pdf/2013/pudovkin3.pdf>).
3. Kul'neva E.Yu. O kharakteristikakh, vliyayushchikh na modelirovanie radiotekhnicheskikh ustroystv / E.Yu.Kul'neva, I.A.Gashchenko // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2014. No. 5-2. p. 50.
4. <http://www.electronicblog.ru/usilitelnaya-sxemotexnika/vxodnye-usiliteli.html>.
5. <http://digteh.ru/Sxemoteh/RejRab/Berg/>.
6. Dakhnovich A.A. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly: uchebnoe posobie / A.A. Dakhnovich. - Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2009. - 176 p. (http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2009/Dachnoc_c.pdf, punkt 7.1.2.).
7. Konspekt lektsiy po kursu "Radiotekhnicheskie tsepi i signaly" / Sost. V.G. Patyukov E.V. Patyukov V.B. Kashkin. - Krasnoyarsk.: SFU, 2007. 200 p. http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/58/u_lectures.pdf (pp.140-141).
8. http://alexandr4784.narod.ru/gb_dwait.html.
9. <http://pomnipro.ru/memorypage14466/biography>.
10. http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biography/10082/%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%B3.