**Контрольная работа ЭМС\_РПДУ-2020**

**РАСЧЁТ ВНЕПОЛОСНЫХ ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫХ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА ВЫХОДЕ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ**

В усилителях мощности узкополосных сигналов на твёрдотельных (ТУМ) и вакуумных приборах (УмЛБВ) возникает противоречие между условиями повышения энергетической эффективности и ростом уровня интермодуляционных искажений (ИМИ). Причины появления ИМИ: насыщение активного элемента (компрессия усиления, АМ/АМ преобразование) и амплитудно-фазовая конверсия (AM/ФМ преобразование).

***Цель работы:*** рассчитать, построить и объяснить характеристики зависимости выходной мощности *Z*, усиления *К*, уровня ИМИ3, ИМИ5 от входной мощности *Y* для безынерционного ТУМ без учёта AM/ФМ преобразования при разных сочетаниях параметров сигнала и режима с использованием средств пакета MathCAD-14.

***Основные соотношения***

В безынерционных активных элементах уровень спектра мощности выходного сигнала в окрестности частот первой гармоники входного гармонического сигнала определяется нечётной частью статической вольтамперной характеристики (НЧ ВАХ) активного элемента, форму которой можно описать выражением *i*(*u*вх) = (2/π)\*arctg[2π\**u*вх], где *u*вх – отклонение управляющего напряжения от рабочей точки (рис. 1).

**Рис. 1. Нечётная часть (НЧ) статической вольтамперной характеристики ВАХ** *i*(*u*вх)

Одночастотный входной сигнал *u*вх(*t*) запишем в виде *y*1*t* = *U*[сos(2π\*32\**t*/512)], где *U -* амплитуда и *f* = 32*\*f*д - нормированная частота. Изменение входного сигнала во времени *t* представлено 512 отсчётами с частотой дискретизации *f*д. Средняя за период колебаний мощность входного сигнала на сопротивлении 1 Ом составляет *Y* = *U*2/2 Вт.

Для расчёта ИМИ используется тестовый двухчастотный сигнал вида *y*2t, где значения частоты входных составляющих отличаются на ±Δ/2 от центральной частоты сигнала *y*1t и имеют значения *f*1/*f*д = 32 – Δ/2 и *f*2/*f*д = 32 + Δ/2 соответственно, где Δ - разнос тестовых частот. Сигнал *y*2(*t*) можно представить пульсирующим колебанием в виде произведения высокочастотного колебания *y*1(*t*) c частотой 32*f*д на низкочастотное колебание с разностной частотой Δ; амплитуда каждой из составляющих *U*/ выбрана так, что средняя (эффективная) мощность суммы двухчастотного сигнала за период разностной частоты *Т* = 1/2Δ совпадает со средней мощностью одночастотного сигнала *y*1(*t*). Осциллограммы двух видов входного сигнала показаны на рис. 2.

**Рис. 2 – Осциллограммы 1-частотного и 2-частотного тестовых сигналов при Y =1**

Значение мощности входного сигнала описывается в пакете MathCAD-14 соотношением Y1L = 20\*log(U) = 10\*log(Y). Его частотный спектр выражается соотношениями f = 0…1024\*32 Y1 = CFFT(y1), Y1f = 2\*|Y1f|2. Спектрограммы вариантов входного сигнала показаны на рис. 3.

**Рис. 3 – Спектрограммы 1-частотного и 2-частотного входного сигнала при Y =1**

Напряжение выходного сигнала при нечётной ВАХ вида рис. 1 выражается соотношениями z1t:= K0⋅(2/π)⋅atan(y1t); z2t:= K0⋅(2/π)⋅atan(y2t). На рис. 4 показана вид осциллограмма выходного сигнала.

**Рис. 4 – Осциллограммы выходного сигнала *z*(*t*) при 1-частотном и 2-частотном входных для *Y* =1**

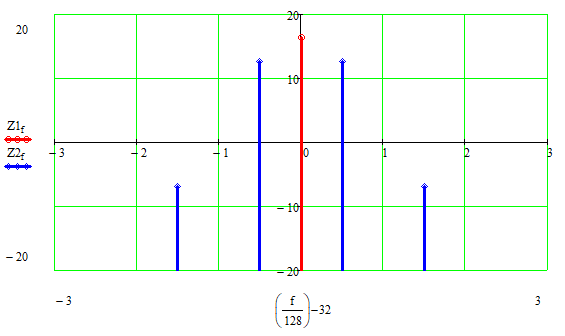
Нелинейность ВАХ приводит к ограничению максимальных отклонений выходного сигнала от состояния равновесия. В спектральном представлении это выглядит как появление дополнительных интермодуляционных составляющих, которые отсутствовали во входном.

Спектр мощности выходного сигнала Z(f) при одночастотном входном воздействии y1t в логарифмической шкале выражается соотношениями Z1 = CFFT(z1), Z1f = 10\*log[2\*|Z1f|2], дБ. Выходная мощность на частоте *f*0 = 32 имеет значение Z132\*128. Логарифмический коэффициент передачи ТУМ по мощности для одночастотного сигнала составляет K1 = Z132\*128 – Y1L, дБ.

На рис. 5 показан вид спектра выходного сигнала при одночастотном входном воздействии. На рис. 5,а видны спектральные компоненты от первой до пятой высших гармоник. Из рассмотрения рис. 5,б следует, что мощность первой гармоники оказалась менее 20 дБВт, что ожидалось при линейном режиме для К0 = 10.

**Рис. 5 – Спектр мощности выходного сигнала при 1-частотном входном для *Y* = 1, К0 = 10 дБ**

На рис. 6 показан спектр выходного сигнала при 2-частотном входном воздействии.

****

**Рис. 6 – Спектр мощности выходного сигнала при 2-частотном входном для *Y* = 1 и К0 = 10**

Мощность выходного сигнала z2(*t*) на частоте *f*2 = 32,5 составляет С2 = 10\*log(Z232.5\*128), дБ; суммарная мощность двух cоставляющих на частотах *f*1 и *f*2 в 2 раза (на 3 дБ) больше. Мощность выходного внеполосного излучения на частоте ИМИ 3-го порядка *f*IM3 = 33,5 составит IM3L = 10\*log(Z233.5\*128) , дБ. Суммарная мощность двух составляющих интермодуляции 3-го порядка в 2 раза (на 3 дБ) больше. Относительный уровень интермодуляционных излучений 3-го порядка в логарифмическом масштабе IM3R равен в дБ разности мощностей на входных частотах и на частотах ИМИ 3-го порядка.

Таким же образом рассчитываются мощность и относительный уровень излучений 5-го порядка на частотах 3*f*1 – 2*f*2 и 3*f*2 – 2*f*1. Суммарная мощность внеполосных составляющих 3-го и 5-го порядков находится сложением мощностей в линейной шкале и новым преобразованием в логарифмическую шкалу обратным преобразованием из логарифмической шкалы в линейную:

IM = 10⋅log[(100.1⋅IM3) + 100.1⋅IM5)]

Повторными запусками расчёта и регистрацией результатов или программированием циклического выполнения при разных сочетаниях параметров получаем показанные на рис. 7 ***амплитудную характеристику*** С1(YL), C2(YL), дБ и ***характеристику компрессии усиления*** К1(YL), K2(YL), дБ; на рис. 8 уровень ИМИ 3-го и 5-го порядков IM3R(YL), IM5R(YL), дБ.

**Рис.7 – Характеристики амплитудная (а) и компрессии усиления (б) при К0 = 10 дБ**

**Рис. 8 – Относительный уровень ИМИ 3-го и 5-го порядков при К0 = 10 дБ**

Текст программы расчёта ИМИ в ТУМ в пакете MathCAD-14 приложен.

***Задание для выполнения КР «ИМИ в ТУМ»***

Для указанного в **табл. 1** сочетания параметров:

1) **рассчитать и построить графики** в зависимости от входной мощности YL, дБмВт указанных в табл. 1 величин: выходная мощность одночастотного сигнала *Z*1(*Y*), дБмВт; коэффициент передачи одночастотного сигнала *K*1(*Y*), дБ; выходная мощность для двухчастотного сигнала на входных частотах *С*2(*Y*), дБмВт; коэффициент передачи двухчастотного сигнала на входных частотах *K*2(*Y*), дБ; относительный уровень интермодуляционных излучений 3-го порядка *IM*3R(*Y*), дБн; относительный уровень интермодуляционных излучений 5-го порядка *IM*5*R*(*Y*), дБн; суммарный уровень *IМR*, дБн.

**2) Пояснить в выводах причины** снижения коэффициента передачи по сравнению с малосигнальным значением *К*0, появления внеполосных ИМИ, зависимости относительного уровня ИМИ от режима ТУМ и указать меры по снижению ИМИ.

**Табл. 1. Сочетания параметров (*К*0 – малосигнальное усиление в дБ, разнос частот тестового сигнала** Δ = ***f*2 – *f*1); нормированная центральная частота f0**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № вар | Фамилия | *К*0, дБ | Δ | *f*0 | Характеристики |
| 1 | Борисов Владимир | 10 | 0,25 | 32 | *Z*1; *С*2; *IM*3 |
| **2** | Волнухина Елена | 15 | 0,15 | 64 | *K*1; *К*2; *IM*5 |
| 3 | Жеребин Владислав | 5 | 0,1 | 32 | *K*1; *К*2; *IM*5 |
| 4 | Кагин Игорь | 8 | 0,25 | 64 | *K*1; K2; *IM*3 |
| 5 | Калугин Константин | 20 | 0,5 | 32 | *K*1; *K*2; *IMR* |
| 6 | Потрикеева Анастасия | 15 | 0,8 | 64 | *С*1; *С*2; *IMR* |
| 7 | Ткаченко Роман | 12 | 1 | 32 | *С*1; *С*2; *IM*3 |
| 8 | Хвостова Юлия | 10 | 2 | 64 | *K*1; *K*2; *IM*5 |
| 9 | Юрьев Дмитрий | 8 | 3 | 32 | *K*1; *K*2; *IM*5 |
| 10 | Волков Дмитрий | 10 | 4 | 64 | *K*1; K2; *IM*3 |
| 11 | Габриелян Давид | 12 | 0,25 | 32 | *K*1; *K*2; *IMR* |
| 12 | Гаркавцев Дмитрий | 14 | 0,15 | 64 | *С*1; *С*2; *IM*3 |
| 13 | Гришина Юлия | 18 | 0,1 | 32 | *K*1; *K*2; *IM*5 |
| 14 | Гущин Алексей | 5 | 0,1 | 32 | *С*1; *С*2; *IM*3 |
| 15 | Деев Александр | 8 | 0,25 | 64 | *Z*1; *С*2; *IM*3 |
| 16 | Ибрагимов Анвар | 20 | 0,25 | 32 | *K*1; *K*2; *IM*5 |
| 17 | Трифонов Илья | 18 | 0,5 | 64 | *K*1; *K*2; *IM*5 |
| 18 | Бровко Татьяна | 15 | 0,8 | 32 | *K*1; K2; *IM*3 |
| 19 | Глухов Олег | 14 | 1 | 64 | *K*1; *K*2; *IMR* |
| 20 | Малафеева Дарья | 10 | 3 | 64 | *С*1; *С*2; *IM*3 |
| 21 | Михайлова Ольга | 20 | 0,25 | 32 | *K*1; *К*2; *IM*5 |
| 22 | Озорнин Никита | 18 | 0,5 | 64 | *K*1; *К*2; *IM*5 |
| 23 | Пастухова Мария | 5 | 0,15 | 64 | *С*1; *С*2; *IM*3 |
| 24 | Подвальная Полина | 8 | 0,1 | 32 | *Z*1; *С*2; *IM*3 |
| 25 | Сумина Анна | 20 | 0,1 | 64 | *K*1; *K*2; *IM*5 |
| 26 | Тихонов Кирилл | 15 | 0,25 | 32 | *K*1; *K*2; *IM*5 |
| 27 | Тропина Дарья | 12 | 0,25 | 64 | *K*1; K2; *IM*3 |
| 28 | Угничев Вадим | 10 | 0,15 | 64 | *K*1; *K*2; *IMR* |
| 29 | Шапкин Павел | 8 | 0,1 | 32 | *С*1; *С*2; *IM*3 |
| 30 | Юдаев Дмитрий | 20 | 0,1 | 64 | *K*1; *К*2; *IM*5 |
| 31 | Якушкин Никита | 18 | 0,25 | 32 | *K*1; *К*2; *IM*5 |