

дусмотрено задание допустимых значений двухсигнального коэффициента шума, коэффициента блокирования и выходного уровня интермодуляционного продукта. Частоты генераторов помех ГП₁ и ГП₂ программно заданы так, чтобы интермодуляционный продукт третьего порядка вида $2f_2 - f_1$ попадал в основной канал приема. На pin-аттенуаторы А₁ и А₂ подается ток, соответствующий их максимальному затуханию; при этом в усилителе не должно возникать нелинейных эффектов. Включается генератор шума. В отсутствие помехи измеряется начальное значение коэффициента шума. Коэффициент блокирования и выходная мощность интермодуляционного продукта равны нулю. Далее на заданную в этом цикле величину уменьшается затухание А₁ и вновь измеряются коэффициенты шума и блокирования, теперь уже в присутствии помехи. После чего ГШ выключается, затухание А₂ уменьшается на величину, при которой мощности помех на входе усилителя становятся равными и измеряется выходной уровень интермодуляционного продукта. Полученные результаты сравниваются с допустимыми значениями. Если последние не соответствуют хотя бы одному из измеряемых параметров, цикл измерений повторяется, но уже для других значений мощностей помех. Если же допустимые значения соответствуют измеренным параметрам, то после обработки данные выводятся на терминал Т и печатающее устройство ПУ. Для соответствующей точки частотного диапазона в таблицу вводятся значения мощностей помех в дБ/Вт, при которых двухсигнальный коэффициент шума, коэффициент блокирования и уровень интермодуляционного продукта достигают заданных перед началом измерения величин. После этого происходит перестройка частот генераторов и алгоритм измерений повторяется для следующей точки частотного диапазона. В случае необходимости графики могут быть построены на экране графического дисплея или с помощью графопостроителя. Время измерения полного набора характеристик ЭМС на такой установке в зависимости от необходимой точности составляет 3—6 мин.

Разработанный комплекс не требует создания специальной аппаратуры, а в качестве генераторов помех ГП₁, ГП₂ можно использовать выпускаемые серийно электронно-перестраиваемые генераторы типа Г4-145, в которых предусмотрено управление от ЭВМ.

Приведенные выше методы окажутся полезными как при проведении измерений и контроле характеристик ЭМС входных приборов СВЧ диапазона, так и при автоматизации эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 23611—79. Совместимость радиоэлектронных средств электромагнитная. Термины и определения.
2. Алгазинов Э. К., Мнойн В. И. Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, 1981, вып. 2.
3. Алгазинов Э. К., Бобрешов А. М. Радиотехника, 1980, т. 35, № 6.
4. Алмазов Долженко К. И., Пантыкин С. В., Швецов Б. Н. Электронная техника. Сер. I. Электроника СВЧ, 1979, вып. 4.
5. Алгазинов Э. К., Бобрешов А. М., Попов В. Н. В кн.: Материалы второго Всесоюзного симпозиума «Нелинейные искажения в приемно-усилительных устройствах». — Минск, 1980.
6. Михайлов А. С. Измерение параметров ЭМС РЭС. — М.: Связь, 1980.

Поступила после доработки 15 октября 1984 г.

УДК 621.372.542

А. Т. МИНГАЗИН

СПОСОБ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАТУХАНИЯ ФИЛЬТРОВ

Предлагается способ расчета фильтров с улучшенными параметрами характеристики затухания. Приведен пример улучшения параметров характеристики эллиптического цифрового фильтра четвертого порядка.

Требования к характеристике затухания $a(\omega)$ фильтра нижних частот (аналогового или цифрового) можно записать в виде

$$\Delta a \leq \Delta a_{max}, \quad a_0 \geq a_{0 min}, \quad \omega_1 \geq \omega_{1 min}, \quad \omega_2 \leq \omega_{2 max}, \quad (1)$$

где Δa — неравномерность характеристики в полосе пропускания; a_0 — минимальное затухание в полосе задерживания; ω_1 и ω_2 — граничные частоты полосы пропускания и задерживания.

Заданным предельно допустимым значениям Δa_{max} , a_{0min} , ω_{1min} , ω_{2max} соответствует минимально необходимый порядок N выбранной аппроксимирующей функции. Из-за целочисленности N , как правило, имеется возможность улучшения параметров Δa , a_0 , ω_1 , ω_2 рассчитываемой характеристики затухания. Кроме того, такую возможность можно получить всегда, преднамеренно увеличив минимально необходимое значение N . В [1] применительно к эллиптическим фильтрам был предложен способ улучшения параметров и получены соответствующие характеристики. Ниже рассматривается другой не описанный в литературе способ, позволяющий рассчитать еще две характеристики затухания с улучшенными параметрами.

Пусть имеется возможность улучшения параметров. Для эллиптических фильтров характеристика затухания полностью определяется значениями N , Δa , ω_1 , ω_2 , т. е. $a(\omega) = a(\omega, N, \Delta a, \omega_1, \omega_2)$ [2]. Учитывая это, первую характеристику с улучшенными параметрами можно получить, полагая

$$a(\omega, N, \Delta a_{max}, \omega_{1min}, \omega_2) |_{\omega=\omega_{2max}} = a_{0min}, \quad (2)$$

а вторую, полагая

$$\left. \begin{aligned} a(\omega, N, \Delta a, \omega_1, \omega_{2max}) |_{\omega=\omega_{1min}} &= \Delta a_{max}; \\ a(\omega, N, \Delta a, \omega_1, \omega_{2max}) |_{\omega=\omega_{2max}} &= a_{0min}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Поскольку зависимость $a(\omega)$ хорошо известна, из (2) следует, что $\omega_2 > \omega_{2max}$ и $a_0 > a_{0min}$, т. е. имеет место улучшение a_0 , но в пределах не всей полосы задерживания, а из (3) следует, что $\omega_1 < \omega_{1min}$ и $\Delta a < \Delta a_{max}$, т. е. имеет место улучшение Δa , но в пределах не всей полосы пропускания.

Для расчета фильтров с характеристиками затухания, соответствующими условиям (2) и (3), необходимо выполнить следующее. По заданным Δa_{max} , a_{0min} , ω_{1min} ,

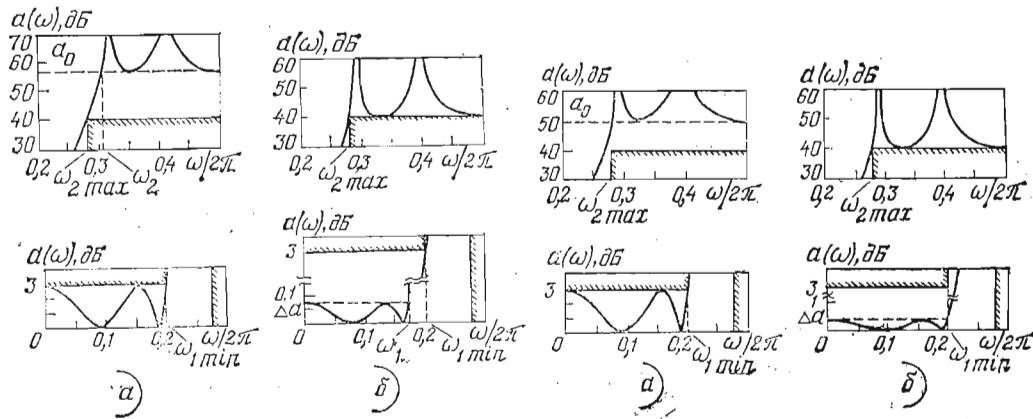


Рис. 1

Рис. 2

ω_{2max} определяется N . Для расчета фильтра при условии (2) используются параметры $\omega_1 = \omega_{1min}$, $\Delta a = \Delta a_{max}$ и ω_2 , определенное из (2). Для расчета фильтра при условиях (3) используются параметры $\omega_2 = \omega_{2max}$ и ω_1 , Δa , определенные из (3).

Нетрудно показать, что второе уравнение в (3) сводится к формуле для определения N , т. е.

$$N = N(\Delta a, a_{0min}, \omega_1, \omega_{2max}). \quad (4)$$

Способ расчета, описанный в [1], можно использовать для решения (4) относительно Δa или ω_1 . Поэтому (3) сводится к решению одного уравнения, которое, так же как и (2), является трансцендентным.

На рис. 1 и 2 представлены характеристики затухания эллиптического цифрового фильтра (ЦФ) четвертого порядка, рассчитанные при $\Delta a_{max} = 3$ дБ, $a_{0min} = 40$ дБ, $\omega_{1min} = 2\pi \cdot 0,2$, $\omega_{2max} = 2\pi \cdot 0,28$. Каждая из этих характеристик соответствует ЦФ, полученному методом билинейного z -преобразования аналогового фильтра — прототипа. Верхняя часть каждого из рисунков иллюстрирует поведение характеристики в полосе задерживания, а нижняя — в полосе пропускания. Характеристики на рис. 1 соответствуют уравнениям (2), (3), а на рис. 2 — параметрам, найденным на основании формул улучшения из [1]. Как следует из рис. 1, а (верхняя часть), a_0 улучшено по сравнению с a_{0min} на 17 дБ, но не во всей полосе задерживания. Из рис. 1, б (нижняя часть) видно, что Δa улучшено по сравнению с Δa_{max} почти на два порядка, но не во всей полосе пропускания. Из рис. 2, а (верхняя часть) следует, что на 10 дБ

улучшено a_0 по сравнению с $a_{0\min}$, а из рис. 2,б (нижняя часть) видно, что почти на порядок улучшено Δa по сравнению с Δa_{\max} .

Таким образом, предложенный способ расчета позволяет улучшить параметры $(\Delta a, a_0)$ характеристики затухания фильтра хотя и существенно, но, в отличие от способа [1], в пределах не всей полосы пропускания или задерживания.

Отметим, что для данного примера характеристика на рис. 1,б может оказаться предпочтительнее других (на рис. 1,а и 2,а,б), поскольку, как показывают расчеты, для ее получения требуется передаточная функция с максимальной добротностью полюса, в 1,4 раза меньшей, чем при получении характеристики на рис. 2,б, и в более 2,4 раза меньшей, чем при получении характеристик на рис. 1,а и 2,а.

В [1] и в данной статье по существу предлагается выбирать исходные $\Delta a, \omega_1, \omega_2$, принадлежащие границе области допустимых параметров $S'(\Delta a, \omega_1, \omega_2)$ [2], с целью улучшения характеристики. Очевидно, что по тем или иным соображениям $\Delta a, \omega_1, \omega_2$ могут быть выбраны и внутри $S'(\cdot)$. Так, например, в [2] такой выбор осуществляется исходя из получения хороших начальных приближений для методов синтеза ЦФ с минимальной длиной слова коэффициентов передаточной функции.

В заключение отметим, что для фильтров Чебышева типа I предложенное улучшение имеет смысл только для параметра Δa , а для фильтров Чебышева типа II только для a_0 . Это связано с тем, что характеристики $a(\omega)$ фильтров Чебышева I и II типов полностью определяются параметрами $(\Delta a, \omega_1)$ и a_0, ω_2 соответственно, принадлежащими $S'(\Delta a, \omega_1)$ и $S'(a_0, \omega_2)$ [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савченко С. М., Смирнов Э. Е. Изв. вузов СССР. Сер. Радиоэлектроника, 1976, т. XIX, № 6.
2. Мингазин А. Т. Электронная техника. Сер. 10, 1983, № 6.

Поступила после доработки 26 декабря 1984 г.

УДК 681.332.001.57 : 621.382

В. В. ДЕНИСЕНКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЕМКОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННЫМИ ЦЕПЯМИ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Предлагается 14 электронных цепей, предназначенных для синтеза аналоговых моделей нелинейных емкостей. Цепи содержат от одного до двух управляемых источника ЭДС и тока с количеством управляющих связей не более двух. Проводится сравнительный анализ цепей, даются рекомендации к практическому применению, рассматривается пример технической реализации модели барьерной емкости p - n перехода.

Электронные модели нелинейных емкостей находят применение в автоматике, радиоэлектронике, аналоговой вычислительной технике и других областях. С их помощью осуществляется оптимальная динамическая коррекция нелинейных систем с обратной связью, перестройка низкочастотных генераторов, компенсация паразитных нелинейных емкостей, аналоговое моделирование нелинейных динамических систем и т. п.

Под моделью нелинейной емкости обычно понимают некоторый двухполюсник, ток через который $i(t)$ связан с приложенным напряжением $V(t)$ зависимостью $i(t) = dC_{ст}(V)/dt = C(V)dV/dt$, где $C_{ст}(V)$ — статическая нелинейная емкость, $C(V)$ — дифференциальная нелинейная емкость. Внутренняя структура двухполюсника может быть самой разнообразной. В настоящее время известно два подхода к синтезу электронных моделей нелинейных емкостей. Первый из них предложен Чуа [1] и основан на применении мутатора — линейного инерционного четырехполюсника, и нелинейного двухполюсного элемента, вид вольт-амперной характеристики которого определяет вид нелинейной вольт-фарадной характеристики (ВФХ) моделируемой емкости. Недостатком этого подхода является необходимость использования нелинейного двухполюсника, в то время как широко распространенные нелинейные блоки аналоговых устройств (функциональные преобразователи) являются четырехполюсниками. Другой подход просматривается в структурах моделей нелинейных емкостей и индуктивностей, описанных в [2], умножителях емкости [3] и линейных конверторах сопротивлений [4].

Ниже предлагается систематизированный набор базовых моделирующих ячеек (табл. 1), четыре из которых (A1, B1, A2, B2) являются обобщением моделей, описан-