

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ, КОНТРОЛИРУЕМОГО НАПРЯЖЕНИЕМ

П. Приходько, Д. Приходько

Главное назначение усилителя мощности, контролируемого напряжением (УМКН), – обеспечение требуемых полосы пропускания и диапазона коэффициента усиления на выбранной СВЧ. Эти функции может выполнять аттенюатор, контролируемый напряжением. Но, как правило, предпочтение отдается усилителям мощности с лучшими шумовыми характеристиками. Кроме того, логичней задавать требуемый коэффициент усиления, чем усиливать сигнал до максимума, а затем ослаблять до заданного уровня. Для стабилизации характеристик УМКН используется замкнутая петля обратной связи, но это может привести к возникновению незатухающих колебаний. Чтобы их исключить, целесообразно моделировать потенциальную нестабильность УМКН с петлей обратной связи и способы ее регулирования.

Знать значение этой функции для каждого уровня выходной мощности. Схема измерения (или моделирования) передаточной функции приведена на рис. 1. Предположим, что $a(t)$ и $c(t)$ – входные синусоидальные СВЧ- и низкочастотный управляющий сигналы УМКН, соответственно. Тогда $a(t) = A_c \sin(\omega_c t)$, а $c(t) = A_m \sin(\omega_m t)$, где $\omega_c = 2\pi f_c$ и $\omega_m = 2\pi f_m$, A_c и A_m – передаточные функции сигналов на несущей и модулирующей частотах, соответственно. Выходной СВЧ-сигнал $b(t)$ – результат амплитудной модуляции входного СВЧ-сигнала $a(t)$ низкочастотным сигналом управляющего интерфейса УМКН $c(t)$. Передаточная характеристика интерфейса, как правило, низкочастотная. В этом случае $b(t) = A_c [1 + m_a \sin(\omega_m t)] \sin(\omega_c t)$, где m_a – коэффициент модуляции, или, с использованием компонентов несущей и двух сигналов боковых полос,

$$b(t) = A_c \sin(\omega_c t) + \frac{m_a A_c}{2} \sin(\omega_c + \omega_m)t + \frac{m_a A_c}{2} \sin(\omega_c - \omega_m)t.$$

Если для поддержания амплитуды модулирующего сигнала постоянной его частота f_m возрастает до $f_{m \max}$, то значения частот двух сигналов боковых полос соответственно либо возрастают, либо уменьшаются по сравнению с f_c (рис. 2). Для правильного функционирования петли обратной связи значение $f_{m \max}$ должно на порядок превышать обратную величину времени распространения сигнала в замкнутой петле обратной связи τ_{resp} , т.е.

$$f_{m \max} \approx 10 \cdot \frac{1}{\tau}.$$

Поскольку основной параметр, влияющий на стабильность всей системы, – передаточная функция УМКН на малом сигнале $A_{VCA}(s)$, для точного анализа нестабильности системы необходимо

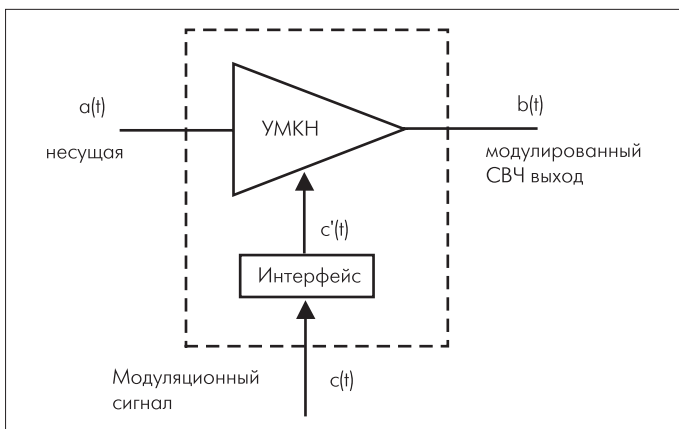


Рис. 1. Конфигурация УМКН

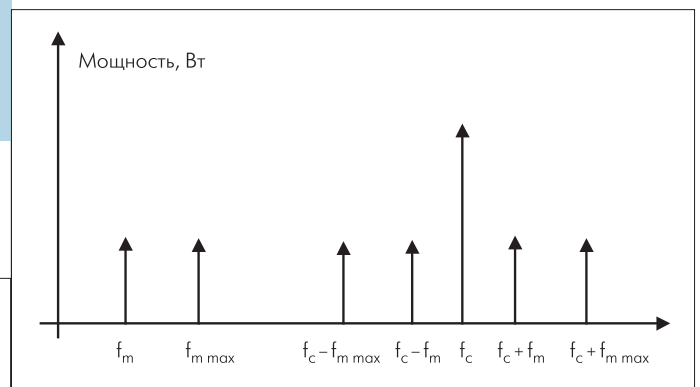


Рис. 2. Спектр выходного СВЧ- и входного низкочастотного сигналов

Для правильного моделирования $A_{VCA}(s)$ нужно рассмотреть две ситуации.

1. $f_{3дБ(VCA)} > f_{3дБ(FC)}$ (рис. 3), где $f_{3дБ(VCA)}$ и $f_{3дБ(FC)}$ – значения частот УМКН по уровню 3 дБ без управляющего интерфейса и с ним, соответственно. Эти частоты определяют значения передаточной функции на малом сигнале без управляющего интерфейса и с ним

$$A_{VCA}(s) = \frac{b(f_c + f_m)}{c'(f_m)} \text{ и } A_{LPF}(s) = + \frac{c'(f_m)}{c(f_m)}.$$

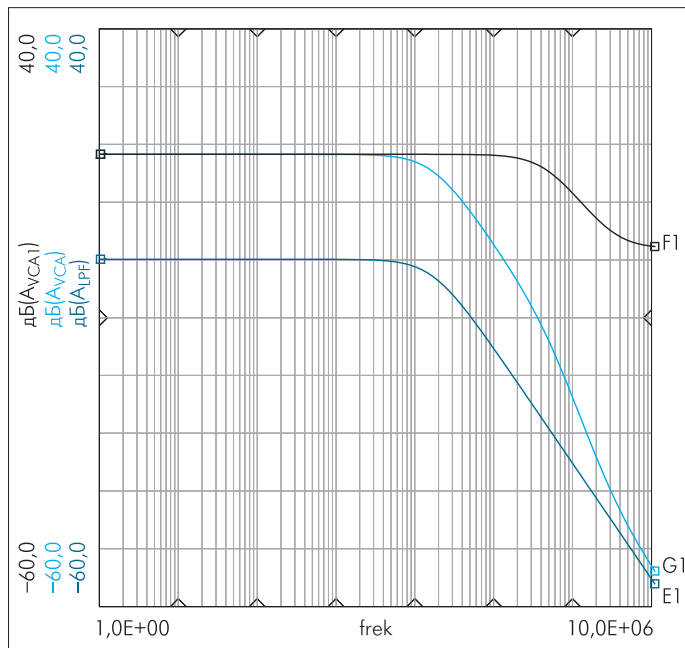


Рис.3. Передаточная функция УМКН – $A_{VCA}(s)$ при условии

$$f_{3дБ(VCA)} > f_{3дБ(RC)}$$

В таком случае полюсы передаточной функции УМКН можно моделировать с помощью RC-фильтра низких частот (ФНЧ):

$$A_{LPF} = \frac{1}{1 + \frac{s}{f_{3дБ}}}, \text{ где } f_{3дБ} = \frac{1}{2\pi RC}.$$

Изменение коэффициента усиления можно получить из кривой зависимости выходной мощности от управляющего напряжения. Эта функция не линейна, и следовательно, коэффициент усиления не постоянен в динамическом диапазоне (рис.4). Поэтому следует определять самый потенциально нестабильный участок с максимальным коэффициентом усиления:

$$A_{VCA}(f_c) = \frac{V_{out2}(f_c) - V_{out1}(f_c)}{V_2(0) - V_1(0)},$$

где V_{outn} – напряжение, соответствующее выходной мощности P_{outn} :

$$A_{VCA}(f_c) = \frac{V'_{out2}(f_c) - V'_{out1}(f_c)}{V'_2(0) - V'_1(0)},$$

где V'_{outn} – напряжение, соответствующее выходной мощности P'_{outn} .

$$\text{Если } |A_{VCA}(f_c)| > |A_{VCA}(f_c)|, \text{ то } A_{VCA}(s) = \frac{A_{VCA}(f_c)}{1 + \frac{s}{f_{3дБ}}}.$$

Таким образом, моделирование коэффициента усиления на малом сигнале $A_{VCA}(s)$ показало, что, пропуская через ФНЧ управляющее напряжение, можно изменять доминантный полюс УМКН и, тем самым, путем выбора необходимой RC-константы ФНЧ первого порядка обеспечивать необходимый запас по фазе (не менее 60°) для корректного функционирования УМКН с замкнутой петлей обратной связи.

2. Вторая ситуация: $f_{3дБ(VCA)} < f_{3дБ(RC)}$ (рис.5). В этом случае применение ФНЧ не имеет смысла, так как он только внесет дополнительный фазовый сдвиг и тем самым уменьшит запас устойчивости схемы по фазе.

Передаточная характеристика определяется как

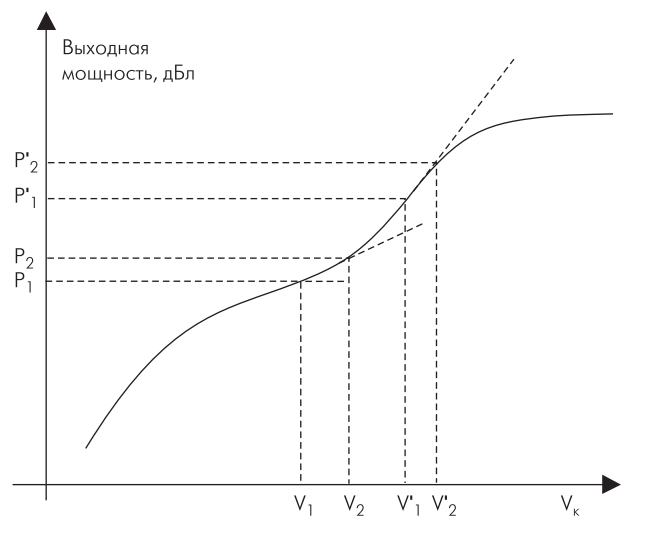


Рис. 4. Зависимость выходной мощности УМКН от управляющего напряжения

$$A_{VCA}(s) = \frac{b(f_c + f_m)}{c'(f_m)}.$$

Ее значение зависит только от параметров УМКН, в первую очередь от наклона зависимости выходной мощности от управляющего напряжения, и рассчитать ее трудно. Для корректного функционирования УМКН также необходим запас по фазе не менее 60° . Так что в данном случае необходимая стабильность УМКН с замкнутой петлей обратной связи устанавливается путем выбора наклона зависимости выходной мощности от управляющего напряжения.

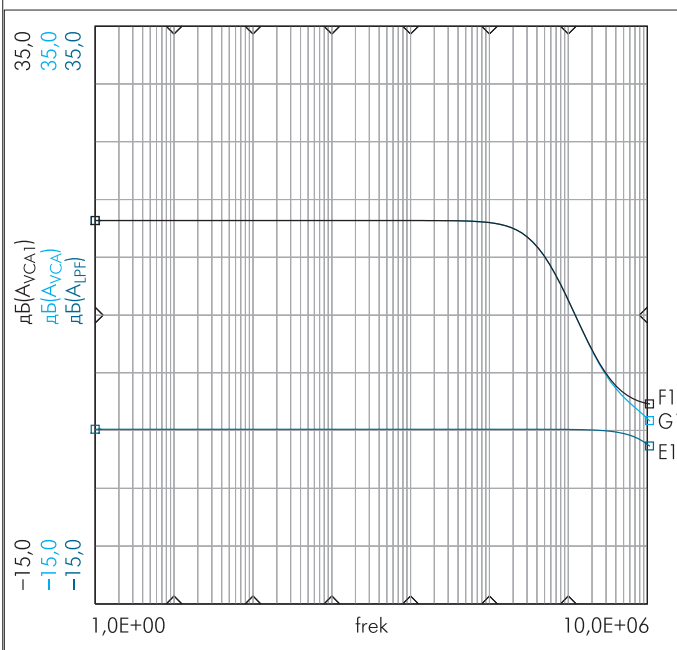


Рис. 5. Передаточная функция УМКН – $A_{VCA}(s)$ при условии

$$f_{3дБ(VCA)} < f_{3дБ(RC)}$$

ЛИТЕРАТУРА

Pankaj Goyal. Automatic gain control in burst communications systems. – RF design, 2000, Feb.

Басюк М. Н, Приходько Д.П. Методика расчета и проектирования петлей обратной связи для биполярных усилителей мощности, работающих в стандарте GSM-900.