

СХЕМА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ УСИЛИТЕЛЕЙ МОЩНОСТИ GSM- СТАНДАРТА МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ

М. Басюк, Д. Приходько

Стремительное распространение средств мобильной связи сопровождается повышением требований к их элементной базе, используемой, в частности, в мобильных станциях (МС). Один из ключевых узлов МС – усилитель мощности, контролируемый напряжением (УМКН). При работе системы мобильной связи в самом распространенном на сегодняшний день GSM-стандарте УМКН должен отвечать высоким требованиям, предъявляемым к форме выходного сигнала в частотном и временном пространстве, а также к разбросу выходной мощности при изменении условий окружающей среды, особенно климатических. Как этого добиться?

Один из основных способов стабилизации характеристик биполярных УМКН – применение замкнутой петли обратной связи с дифференцирующим или суммирующим узлом (рис. 1а и б) [1,2]. Отличие двух вариантов в том, что входной и детектируемый сигналы, соответственно, вычитаются или складываются. В первом варианте компаратор должен быть хорошо сбалансирован и одновременно выполнять роль интегратора для подстройки доминантного полюса в замкнутой петле обратной связи. При использовании же замкнутой петли обратной связи с суммирующим узлом технические требования (уровень синфазного входного напряжения, сбалансированность), предъявляемые к операционным усилителям ОУ1 и ОУ2 с обратной связью f_1 и f_2 , соответственно, не столь жесткие. Функции ОУ1 и ОУ2 четко разграничены: ОУ1 – суммирующий и инвертирующий узел, ОУ2 – интегрирующий и инвертирующий узел.

Однако для правильного функционирования петли обратной связи и предотвращения неустойчивости необходимо обеспечить точное выполнение функций f_1 и f_2 . Сегодня проектирование замкнутой петле обратной связи и выбор необходимых величин компонентов осуществляются большей частью либо эмпирически, либо методом моделирования, что приводит к росту затрат и увеличению продолжительности разработки схемы УМКН.

Можно ли разработать методику анализа и проектирования на базе аналитических и компьютерных средств УМКН на основе замкнутой петли обратной связи с суммирующим узлом? Поскольку в УМКН на вход подается СВЧ-сигнал с постоянной амплитудой, а с выхода снимается СВЧ-сигнал, модулируемый контрольным низко-

частотным сигналом, корректно определить результирующий сигнал ошибки путем вычитания этих двух величин нельзя. Таким образом, теория автоматического управления не может быть непосредственно применена к УМКН и для временного и частотного анализа следует использовать линейную модель петли обратной связи (рис.2). В этом случае синтез петли обратной связи, строго говоря, предусматривает рекурсивный математический расчет, состоящий из пяти этапов [3]:

1. Определение для выбранной конфигурации передаточной функции петли обратной связи в общем виде:

$$T(s) = \frac{S_{fb}(s)}{S_i(s)} = \frac{G(s)}{1 - G(s)f(s)}$$

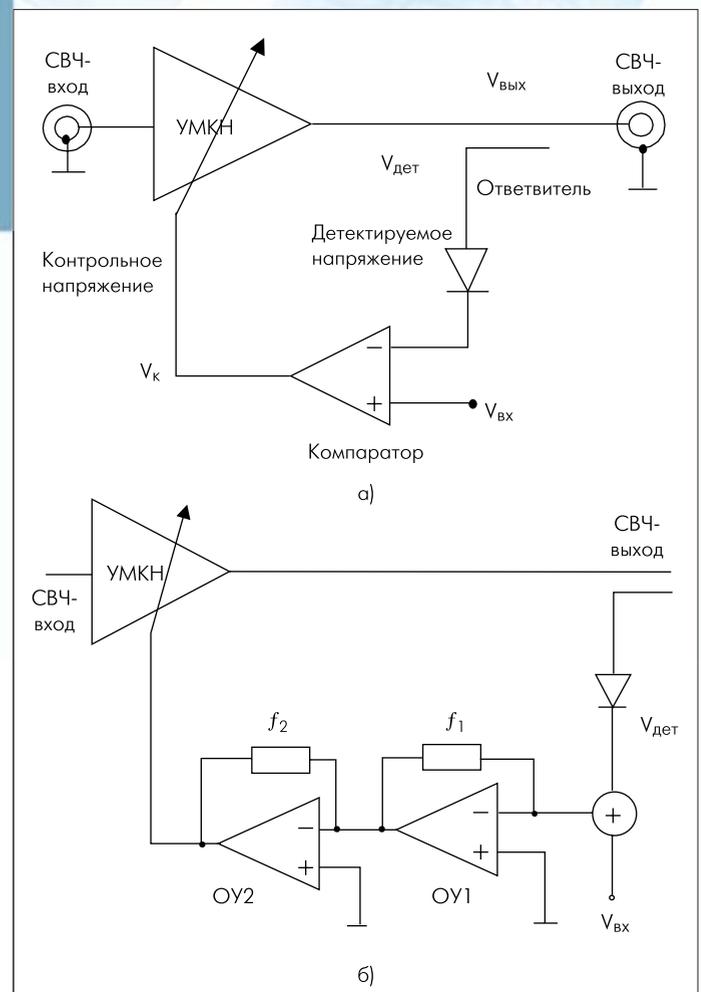


Рис. 1. Схема реализации УМКН на основе замкнутой петли обратной связи с дифференцирующим (а) и суммирующим (б) узлами

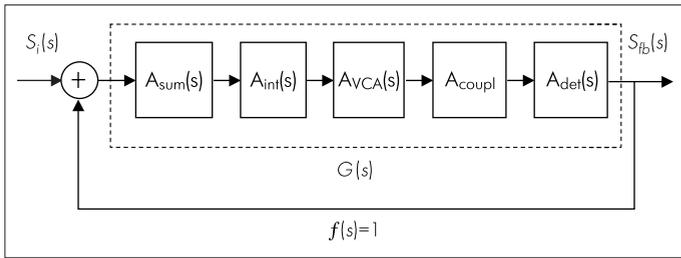


Рис.2. Линейная конфигурация петли обратной связи для временного и частотного анализа выходного сигнала: $S_i(s)$ – контрольный НЧ-сигнал; $S_{fb}(s)$ – детектируемый сигнал; $G(s)$ – передаточная функция разомкнутой петли обратной связи; $f(s)$ – обратная передаточная функция; $A_{sum}(s)$ – передаточная функция суммирующего усилителя; $A_{int}(s)$ – передаточная функция интегратора; $A_{VCA}(s)$ – коэффициент усиления УМКН, равный отношению изменения коэффициента усиления к изменению контрольного напряжения; A_{coupl} – коэффициент потерь ответвителя; $A_{det}(s)$ – коэффициент усилителя детектора, равный отношению изменения детектируемого напряжения к изменению входной мощности

Так как $f(s) = 1$, а элементы обратной передаточной функции включены в $G(s)$, то

$$T(s) = \frac{S_{fb}(s)}{S_i(s)} = \frac{G(s)}{1 - G(s)}. \quad (1)$$

2. Определение диапазона стабильности петли обратной связи.
3. Определение входного тестового сигнала $S_i(s)$. Допустим, входной сигнал $s_i(t) = A$, тогда $S_i = A/s$. Для математического описания быстродействия петли обратной связи обычно используется ступенчатая функция.
4. Определение зависимости $S_{fb}(t)$, описывающей изменение параметров петли обратной связи во времени, путем обратного преобразования Лапласа для $S_{fb}(s)$.
5. Вычисление с помощью теоремы для сигнала ошибки $E(s)$ ошибки петли обратной связи, характеризующей степень точности ее функционирования, т.е. точность корректировки ею выходного сигнала при изменении входного воздействия:

$$E(s) = S_i(s) - S_{fb}(s),$$

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{1 + G(s)} S_i(s).$$

Результаты аналитического решения задач третьего–пятого этапов, описывающих функционирование петли обратной связи в общем виде, трудно использовать для ее точного инженерного синтеза. Тем не менее правильный анализ на первых двух этапах позволяет выбрать величины компонентов замкнутой петли обратной связи, обеспечивающие ее стабильную работу. К недостаткам такого расчета следует отнести и то, что не учитывается неидеальность характеристик реальных компонентов, используемых в узле УМКН.

Чтобы приблизить расчет параметров узла УМКН к конкретным условиям практического проектирования, необходимо расширить рассмотренную методику. Согласно предлагаемой методике, переда-

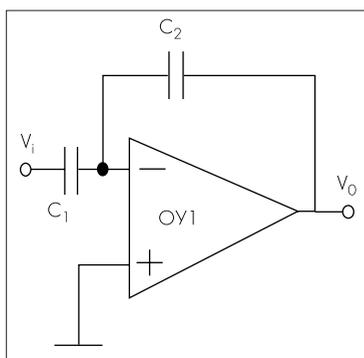


Рис.3. Суммирующий узел – операционный усилитель на переключающихся емкостях

точная функция разомкнутой петли обратной связи, используемая в уравнении 1, определяется следующим образом:

$$G(s) = H_{SUM}(s) \cdot H_{INT}(s) \cdot H_{PA}(s) \cdot H_{COUPL} \cdot K_{DET}(s).$$

Рассмотрим передаточную функцию каждого компонента петли обратной связи.

В качестве **суммирующего усилителя** может быть использован операционный усилитель на переключающихся емкостях (рис.3) со следующей передаточной функцией:

$$A_{sum}(s) = \frac{1}{k \left(1 + \frac{C_1}{C_2} + \frac{X_{C_2}}{R_{in}} \right) - \frac{C_2}{C_1}},$$

$$\text{где } k = \frac{1/R_{out} + 1/X_{C_2}}{\frac{1}{X_{C_2}} - \frac{A_{0LO}}{R_{out}}}, \quad X_{C_2} = \frac{1}{2\pi s C_2}.$$

Диаграммы Боде, описывающие амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики этой схемы, представлены на рис.4. Предполагается, что конечное дифференциальное входное сопро-

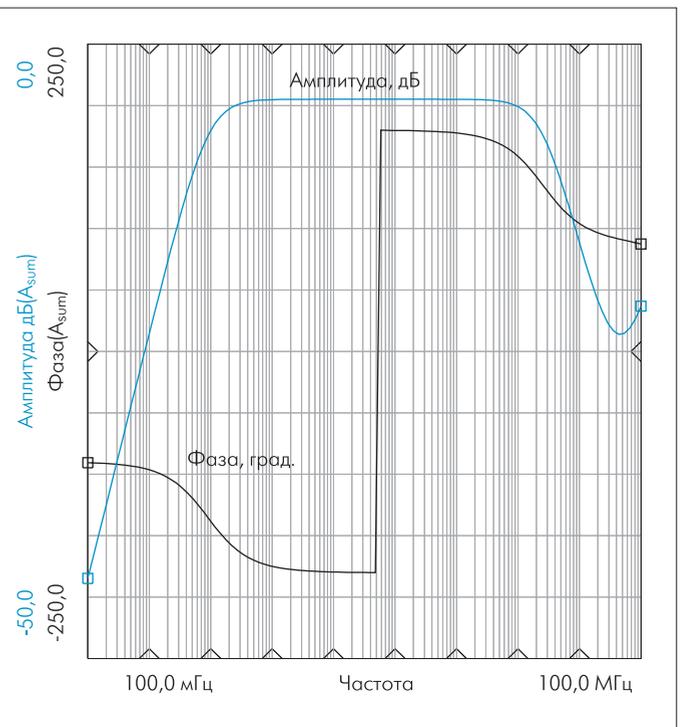


Рис.4. Диаграмма Боде операционного усилителя с переключающимися емкостями

тивление операционного усилителя ОУ1 (см. рис.16) равно R_{in} , выходное сопротивление $-R_{out}$, конечный коэффициент усиления –

$$A_{0LO} = \frac{A_{00}}{1 + \frac{s}{f_{C_0}}}, \quad f_{C_0} = \frac{BW_0}{A_{00}},$$

где A_{00} – низкочастотный коэффициент усиления, BW_0 – частота единичного усиления.

Коэффициент усиления **интегратора** (рис.5), входящего в контур регулирования схемы УМКН, равен

$$A_{int} = - \frac{1}{2\pi s R_{int} C_{int}} \left[\frac{1}{1 + \frac{1}{\beta A_{0L3}}} \right], \quad (2)$$

$$\text{где } \beta = \frac{R_i}{R_i + \frac{1}{2\pi RC_{int}}}$$

Диаграммы Бode, описывающие амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики этой схемы, представлены на рис.6. Как

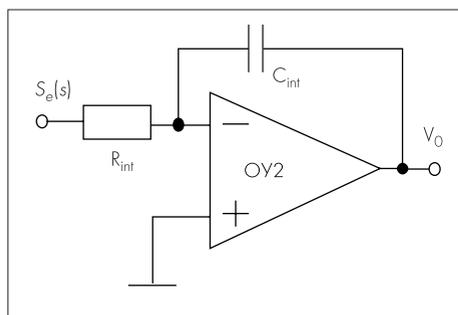


Рис.5. Интегратор

$$A_{0Li} = \frac{A_{0i}}{1 + \frac{s}{f_{Ci}}}, \quad f_{Ci} = \frac{BW_i}{A_{0i}}$$

где A_{0i} – низкочастотный коэффициент усиления, BW_i – частота единичного усиления.

Расчет стабильности всей подсистемы. Из-за проблемы сходимости кривых, которая может возникнуть при возбуждении незатухающих колебаний, компьютерный расчет замкнутой петли обратной связи затруднен. Однако, на основе данных компьютерного расчета $A_{VCA}(s)$, $A_{det}(s)$ и $A_{сопр}$ разомкнутой петли обратной связи и аналитических уравнений для интегратора и операционного усилителя на переключающихся емкостях, можно, изменяя ключевые параметры компонентов (например, C_{int} в уравнении 2), установить изменение передаточной функции разомкнутой петли обратной связи – $G(s)$, а затем экстраполировать параметры для передаточной функции замкнутой петли обратной связи – $T(s)$.

Анализ стабильности разомкнутой и экстраполированной замкнутой петли обратной связи при выходной мощности 19 дБм и $C_{int}=27$ пФ показан на рис.7. С помощью компьютерных расчетов для

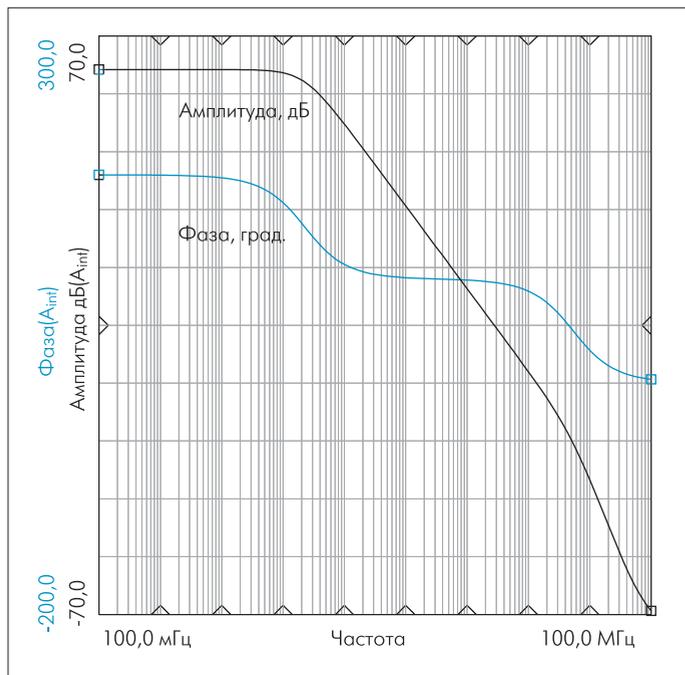


Рис.6. Диаграмма Бode интегратора

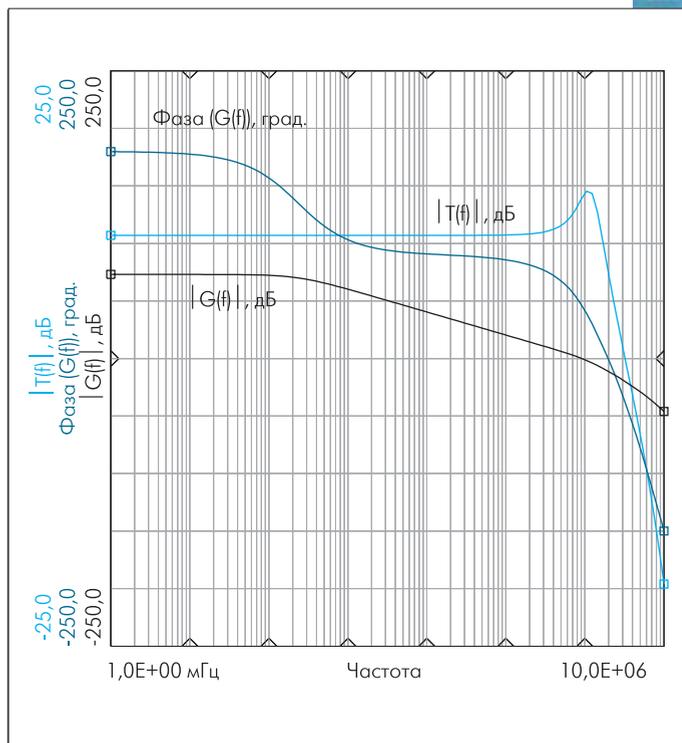


Рис.7. Анализ стабильности разомкнутой и экстраполированной замкнутой петли обратной связи (диодный детектор, $R_{вых}=19$ дБм, $C_{int}=27$ пФ)

высоких уровней мощности (на которых малосигнальный коэффициент усиления максимален) определены величины C_{int} , обеспечивающие для разомкнутой петли обратной связи запас по фазе 45° :

Выходная мощность, дБм	C_{int} , пФ (45° запас по фазе)
5	9
19	27
25	27
33	27

Таким образом, путем компьютерного расчета фиксированных передаточных характеристик УМКН, детектора и ответвителя на основе разработанной методики анализа подсистем обратной связи с последующей подстановкой аналитически определенных характеристик других узлов разомкнутой петли обратной связи (суммирующего узла и интегратора) и экстраполяцией параметров для замкнутой петли обратной связи можно сравнительно точно смоделировать поведение подсистем стабилизации усилителей мощности сотовой аппаратуры, работающей в стандарте GSM-900 [4]. Для оценки предельных возможностей представленной методики при расчете и компьютерном анализе схем УМКН с замкнутой обратной связью необходимо учитывать возможность потери устойчивости схемы, так как незатухающие колебания приведут к проблемам со сходимостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maxim Integrated Systems. Low-Cost, Low-Voltage Power Control Amplifier for GSM Applications in 8-Pin uMAX. Каталог фирмы.
2. Datasheet. PCF5078 Power amplifier controller for GSM and PCN systems, 1999.
3. Pankaj Goyal. Automatic gain control in burst communications systems.– RF design, Feb. 2000.
4. Стандарт GSM 05.05.