

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 замкнутых петель 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:

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

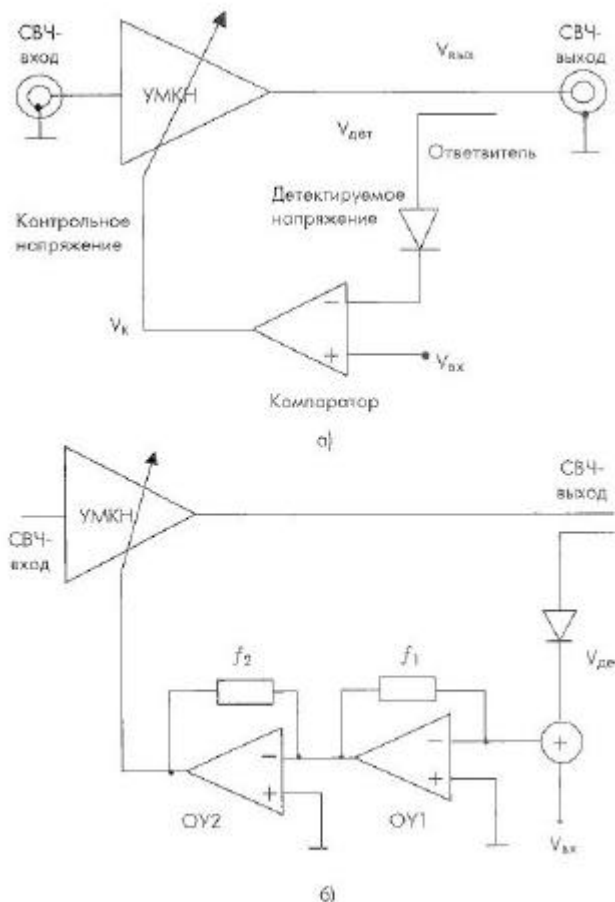


Рис. 1. Схема реализации УМКН на основе замкнутой петли обратной связи с дифференцирующим (а) и суммирующим (б) узлами

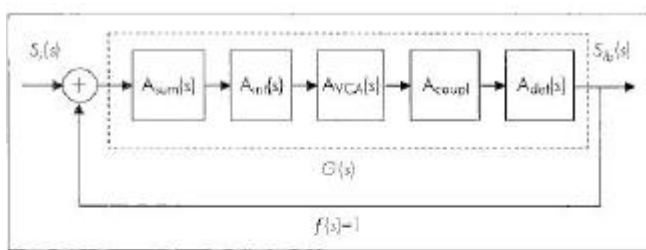


Рис.2. Линейная конфигурация петли обратной связи для временного и частотного анализа выходного сигнала: $S_i(s)$ – контрольный НЧ-сигнал; $S_{fb}(s)$ – детектируемый сигнал; $G(s)$ – передаточная функция разомкнутой петли обратной связи; $f(s)$ – обратная передаточная функция; $A_{sum}(s)$ – передаточная 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_{coup} – 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

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

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 $S_{fb}(t)$.
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:

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

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

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

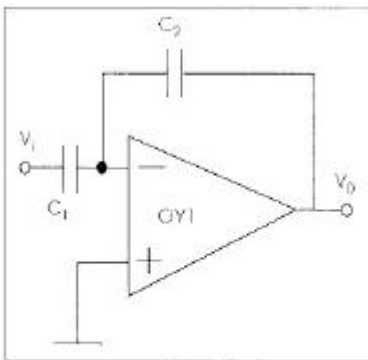


Рис.3. Суммирующий узел – операционный усилитель на переключающихся емкостях

методике, передаточная 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 на переключающихся емкостях (рис.3) со следующей передаточной

$$A_{sum}(s) = \frac{1}{k \left(1 + \frac{C1}{C2} + \frac{X_{c2}}{R_{in0}} \right) - \frac{C2}{C1}}$$

где $k = \frac{1/R_{out} + 1/X_{c2}}{1/X_{c2} - A_{OLO}/R_{OUT}}$, $X_{c2} = \frac{1}{2psC_2}$

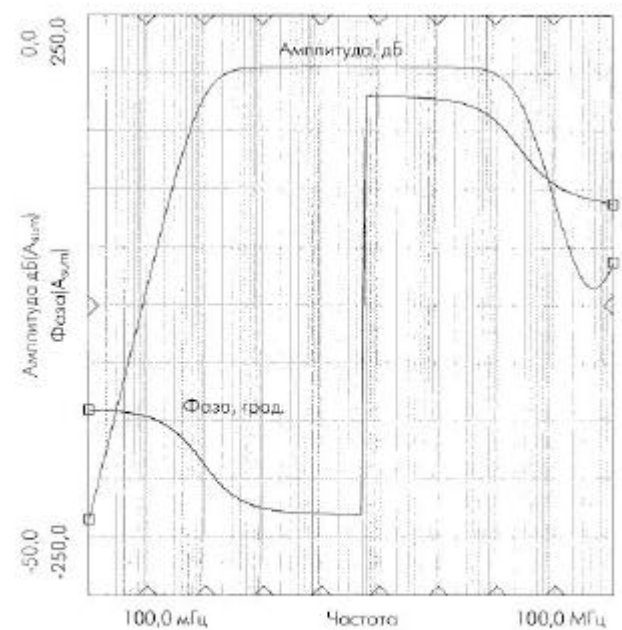


Рис. 4. Диаграмма Боде операционного усилителя с переключающимися емкостями

Диаграммы Боде, описывающие амплитудно-частотные и фазо-частотные характеристики этой схемы, представлены на рис.4.

Предполагается, что конечное дифференциальное входное сопротивление операционного усилителя ОУ1 (см. рис. 16) равно R_{in0} , выходное сопротивление – R_{out} ,

конечный коэффициент усиления

$$A_{OLO} = \frac{A_{00}}{1 + \frac{s}{f_{C0}}}, \quad f_{C0} = \frac{BW_0}{A_{00}}$$

– где A_{00} – низкочастотный коэффициент усиления,

BW_0 – частоте единичного усиления.

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

$$A_{int} = - \frac{1}{2psR_{int}} \left[\frac{1}{1 + 1/bA_{OL3}} \right],$$

$$\text{где } b = \frac{R_1}{R_i + \frac{1}{2\mu RC_{\text{int}}}}$$

Диаграммы Боде, описывающие амплитудно-частотные и

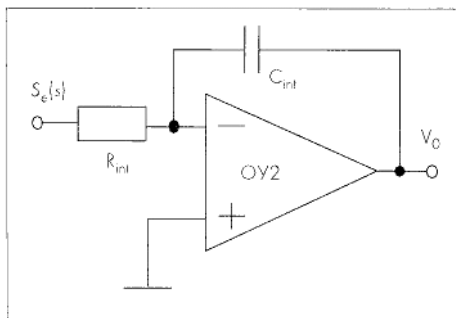


Рис.5. Интегратор

фазо-частотные характеристики этой схемы, представлены на рис.6. Как и ОУ1, операционный усилитель ОУ2, выполняющий функцию интегратора, характеризуется конечным дифференциальным входным

сопротивлением R_{in0} , до, выходным сопротивлением R_{out} , конечным коэффициентом усиления:

$$A_{0Li} = \frac{A_{oi}}{1 + \frac{s}{f_{ci}}}, f_{ci} = \frac{BW_i}{A_{oi}},$$

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

Расчет стабильности всей подсистемы. Из-за проблемы сходности 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_{coupl} 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

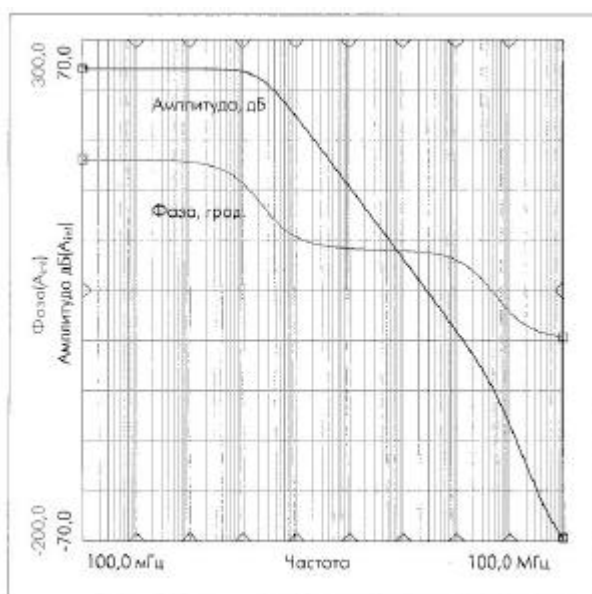


Рис.6. Диаграмма Боде интегратора

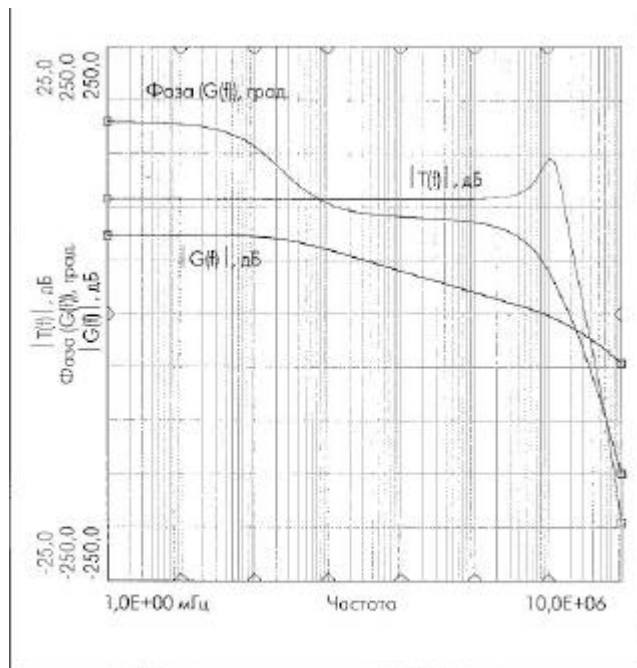


Рис.7. Анализ стабильности разомкнутой и экстраполированной замкнутой петли обратной связи (диодный детектор, $P_{\text{вых}}=19$ дБм, $C_{\text{int}}=27$ пФ)

замкнутой петли обратной связи при выходной мощности 19 дБм и $C_{\text{int}} = 27$ пФ показан на рис.7. С помощью компьютерных расчетов для 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	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. Pankoj Goyal, Automatic gain control in burst! communications systems, – RF design, Feb. 2000.
4. Стандарт GSM 05.05.