

тронных устройств автоматики и вычислительной техники о методах усиления широкополосных сигналов. Для внедрения в практические разработки рассмотренных ДК необходимы дополнительные исследования, а также их всестороннее компьютерное моделирование.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высокочастотный усилитель на транзисторе по схеме с общей базой [Текст]. Пат. 2365028 Российской Федерации, МПК8 H03F 3/34, 3/04, 3/189 / Прокопенко Н.Н., Конев Д.Н., Будяков А.С., заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса». – № 2007144027/09; заявл. 27.11.2007; опубл. 20.08.2009. Бюл. № 23. – 12с.: ил. (91).
2. Высокочастотный дифференциальный усилитель [Текст]: заявка на патент Российской Федерации; МПК8 H03F 3/34, 3/45 / Прокопенко Н.Н., Будяков А.С., Конев Д.Н. – № 2008109765/09; заявл. 13.03.2008 (121).
3. Усилитель переменного тока с парафазным выходом [Текст]: заявка на патент Российской Федерации; МПК8 H 03 F 3/34, 3/45 / Прокопенко Н.Н., Серебряков А.И., Гришков В.Н. – № 17-3773/27 от 09.12.09 (273).

Прокопенко Николай Николаевич

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса.
346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147.
E-mail: prokopenko@sssu.ru.
Тел.: 88636222037; 8863222133.

Будяков Петр Сергеевич

E-mail: byduakov@mail.ru.

Крюков Сергей Владимирович

E-mail: vvks@list.ru.

Prokopenko Nikolay Nikolaevich

South-state university of economics and services.
E-mail: prokopenko@sssu.ru.
147, Shevchenko, Shahty, 346500, Russia.
Phone: 88636222037; 8863222133.

Budyakov Petr Sergeevich

E-mail: byduakov@mail.ru.

Kryukov Sergey Vladimirovich

E-mail: vvks@list.ru.

УДК 621.375

Н.Н. Прокопенко, П.С. Будяков, С.В. Крюков

**СПОСОБ УСИЛЕНИЯ СИГНАЛОВ В СТРУКТУРЕ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ КАСКАДОВ С ЦЕПЯМИ ВЗАИМНОЙ
КОМПЕНСАЦИИ ИМПЕДАНСОВ НИЗКООМНЫХ РЕЗИСТОРОВ**

Предлагается концепция построения дифференциальных каскадов с повышенным коэффициентом усиления по напряжению, в которых создаются специальные условия для взаимной компенсации импедансов низкоомных резисторов коллекторной нагрузки.

Дифференциальный усилитель; собственная и взаимная компенсация импедансов; способы повышения коэффициентов усиления.

N.N. Prokopenko, P.S. Budyakov, S.V. Kryukov

METHOD FOR ENHANCEMENT OF SIGNALS IN THE STRUCTURE OF DIFFERENTIAL CASCADES WITH CHAINS MUTUAL IMPEDANCE COMPENSATION RESISTORS LOW-RESISTANCE

Proposed to construct the concept of differential stages with a high gain voltage, which creates special conditions for reciprocal compensation impedance low-impedance collector load resistors.

The differential amplifier, self and mutual impedances of compensation, how to improve the gain.

Эффекты собственной и взаимной компенсации импедансов [1] позволяют схемотехническими методами решать проблему повышения многих качественных показателей достаточно широкого класса микроэлектронных изделий. Весьма перспективным может оказаться применение этих идей в операционных и дифференциальных усилителях, изготавливаемых в рамках техпроцесса SGB25VD, не позволяющего применять активные нагрузки на биполярных р-п-р-транзисторах. Данное ограничение отрицательно сказывается на величине коэффициента усиления по напряжению (K_u) классических транзисторных каскадов, так как этот параметр определяется сопротивлением резисторов коллекторной нагрузки и напряжением питания, не превышающим для техпроцесса SGB25VD $2 \div 2,5V$.

В соответствии с [1] влияние низкоомных резисторов на K_u можно компенсировать.

В настоящей работе рассматривается способ усиления сигналов, основанный на минимизации эффективной проводимости резисторов, определяющих коэффициент передачи дифференциальных каскадов (ДК). Для демонстрации возможностей усилителей с такой архитектурой выбран входной каскад на основе эмиттерных повторителей напряжения, в который вводится цепь взаимной компенсации импедансов эмиттерных резисторов R1, R2 (рис. 1), реализованная на основе токового зеркала ПТ1 и буфера ПН1 с единичным коэффициентом передачи.

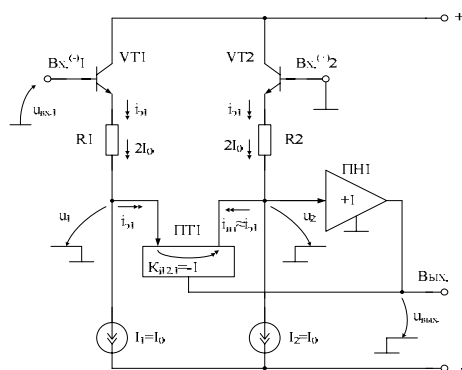


Рис. 1. Архитектура ДК с предельным коэффициентом усиления $K_u > 120$ дБ

В статическом режиме эмиттерные токи входных транзисторов VT1 и VT2 (рис. 1) устанавливаются двухполюсниками I_1 и I_2 , а также за счет выбора сопротивлений дополнительных резисторов R1 и R2.

Если на вход Вх.1 подается входное напряжение $u_{вх.1}$, то это вызывает увеличение тока $i_{в1}$ через резистор R1

$$i_{\text{э1}} = \frac{u_{\text{вх.1}} + u_1}{R_1} = \frac{u_{\text{вх.1}}(1 + K_y)}{R_1}, \quad (1)$$

где K_y – коэффициент усиления по напряжению ДК.

При этом приращение тока $i_{\text{э1}}$ передается через токовое зеркало ПТ1 в резистор R2 и вызывает увеличение напряжения на этом резисторе. Поэтому напряжение u_2 на токостабилизирующем двухполюснике I_2 уменьшается. Как следствие, уменьшается напряжение на выходе ДК $u_{\text{вых.}}$ и напряжение на двухполюснике I_1 , так как в схеме фиг. 2 за счет свойств ПТ1:

$$u_{\text{вых.}} \approx u_2 \approx u_1. \quad (2)$$

Таким образом, фаза выходного напряжения $u_{\text{вых.}}$ на выходе ДК (рис. 1) противоположна фазе входного напряжения $u_{\text{вх.1}}$, а коэффициент усиления равен

$$K_y \approx \frac{\frac{R_2}{R_1} K_{\text{и12.1}}}{1 - \frac{R_2}{R_1} K_{\text{и12.1}}}, \quad (3)$$

где $K_{\text{и12.1}} \approx 1$ – коэффициент передачи по току токового зеркала ПТ1.

Если $R_1 = R_2$, а $K_{\text{и12.1}} = 1$, то при высокоомной нагрузке ($R_{\text{н}} = \infty$) K_y достигает значений

$$K_y \approx \frac{1}{1 - K_{\text{и12.1}}} \gg 1. \quad (4)$$

Если $R_{\text{н}} \neq \infty$, то

$$K_y \approx \frac{\frac{R_2^*}{R_1} K_{\text{и12.1}}}{1 - \frac{R_2^*}{R_1} K_{\text{и12.1}}} \gg 1, \quad (5)$$

где $R_2^* = R_2 \parallel \beta_1 R_{\text{н}} \leq R_2$ – эквивалентное сопротивление в выходной цепи токового зеркала ПТ1;

β_1 – коэффициент усиления по току буфера ПН1.

В этом случае для получения $K_{y,\text{max}}$ необходимо выбрать R_2 исходя из уравнения

$$R_1 = K_{\text{и12.1}} R_2^*. \quad (6)$$

Если входное напряжение $u_{\text{вх.2}}$ подается на второй вход ДК (Вх.2), то это вызывает синфазное изменение напряжения на входе ПН1, выходного напряжения $u_{\text{вых.}}$ и напряжения u_1 . Как следствие, ток через резистор R1 уменьшается, что вызывает уменьшение выходного тока токового зеркала ПТ1 и тока через резистор R2. Поэтому в данном режиме выходное напряжение ДК имеет такую же фазу, что и входное напряжение $u_{\text{вх.2}}$.

Компьютерное моделирование идеальной схемы (рис. 1), выполненное в среде PSpice на моделях транзисторов ФГУП НПП «Пульсар» показывает (рис. 2, 3),

что предельные значения ее коэффициента усиления по напряжению K_u определяется токовым зеркалом ПТ1 и технологической погрешностью изготовления резисторов R_1 и R_2 .

Рис. 2 показывает, что при выбранных параметрах элементов ($R_1 = R_2 = 300$ Ом, $I_1 = I_2 = 1$ мА) схема (рис. 1) обеспечивает усиление сигнала с $K_y \geq 95$ дБ, если $K_{пт} = K_{i12.1} > 0,95$.

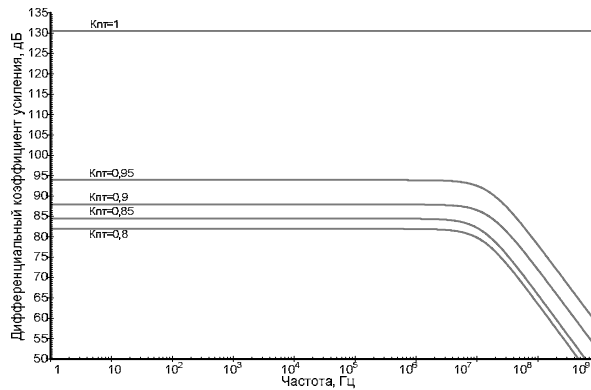


Рис. 2. Зависимость предельного коэффициента усиления ДК от коэффициента передачи токового зеркала $K_{пт} = K_{i12.1}$

Предельные значения $K_{y,max}$ при $K_{i12.1} = K_{пт} = 1$ определяются технологическим разбросом эмиттерных резисторов (рис. 3).

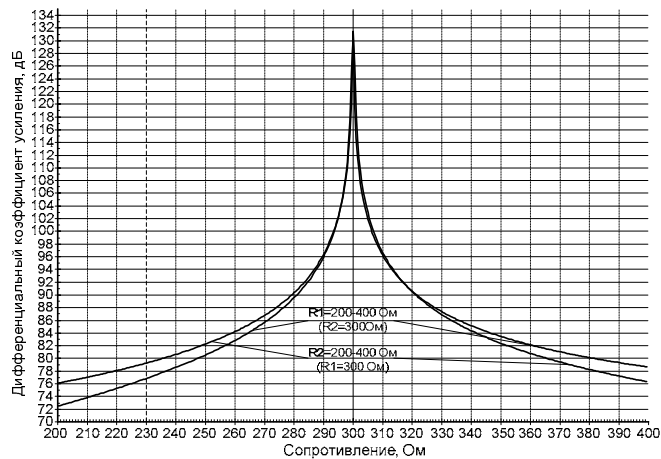


Рис. 3. Влияние резисторов R_1 и R_2 на предельный коэффициент усиления ДК

Однако численные значения K_u достигают значения $K_y > 70$ дБ, если относительная погрешность $\Delta R / R \leq 30\%$.

При использовании техпроцесса SGB25VD предельный частотный диапазон (усиление $K_y > 120$ дБ) лежит в пределах десятков ГГц (рис. 4).

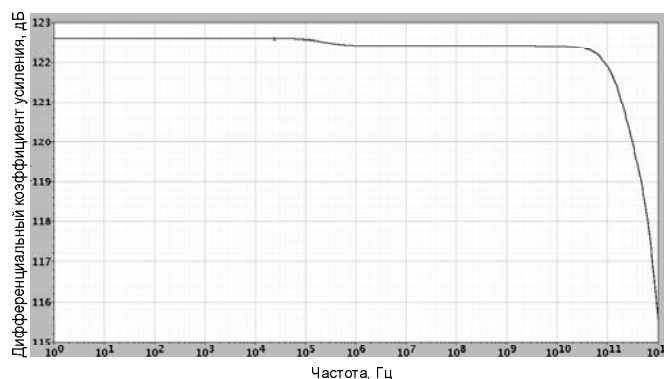


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика ДК по технологии SGB25VD при $R1=R2=700$ Ом, $I_1=I_2=2$ мА

Таким образом, предельные значения K_u дифференциальных каскадов рассматриваемого класса определяются разностью сопротивлений эмиттерных резисторов $R1$, $R2$, их величиной, а также отличием коэффициента передачи по току $K_{i12.1}$ токового зеркала ПТ1 от единицы и входным сопротивлением буферного усилителя ПН1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крутччинский С.Г. Структурный синтез аналоговых электронных схем [Текст] / С.Г. Крутччинский. – Ростов-н-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2001. – 185 с.
2. Дифференциальный усилитель [Текст]: заявка на патент Российской Федерации; МПК8 H03F 3/34, 3/45 / Прокопенко Н.Н., Будяков П.С., Серебряков А.И. – Заявл. 3.12.2009 (269).

Прокопенко Николай Николаевич

Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса.
346500, г. Шахты, ул. Шевченко, 147.
E-mail: prokopenko@sssu.ru.
Тел.: 88636222037; 8863222133.

Будяков Петр Сергеевич

E-mail: byduakov@mail.ru.

Крюков Сергей Владимирович

E-mail: vvks@list.ru.

Prokopenko Nikolay Nikolaevich

South-state university of economics and servises.
E-mail: prokopenko@sssu.ru.
147, Shevchenko, Shahty, 346500, Russia.
Phone: 88636222037; 8863222133.

Budyakov Petr Sergeevich

E-mail: byduakov@mail.ru.

Kryukov Sergey Vladimirovich

E-mail: vvks@list.ru.