

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

На правах рукописи

УДК 621.375

ФАЗИЛЖАНОВ ИСМАИЛ РУСТАМОВИЧ

КОМПЛЕМЕНТАРНЫЕ ЭМИТТЕРНЫЕ ПОВТОРИТЕЛИ НА
ИНЖЕКЦИОННО – ВОЛЬТАИЧЕСКИХ ТРАНЗИСТОРАХ

05.12.04 - Системы и устройства радиотехники, радионавигации,
радиолокации и телевидения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Ташкент - 2009

Работа выполнена в Ташкентском университете информационных технологий

Научный руководитель

доктор физико – математических наук,
профессор Арипов Хайрулла Кабилович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Халиков Абдулхак Абдулхайирович

кандидат технических наук, доцент
Соатов Халик Садикович

Ведущая орган

A
A/2451
Ф164 Фазилжэнов И.
Комплементарные
эммиттерные...
Т., 2009

Б/У

асов
ТШКОМ
КЕНТ,
ТШКОГО

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

Актуальность работы. В оконечных каскадах усилителей мощности низкой частоты широко используются комплементарные эмиттерные повторители на мощных биполярных транзисторах (БТ). Основным недостатком комплементарных и квазикомплементарных эмиттерных повторителей (КЭП и ККЭП) является неустойчивость режима работы из-за возрастания температуры или величин питающего напряжения.

Действие дестабилизирующих факторов на транзисторы проявляются в виде протекания через нагрузку встречно направленных, одинаковых по величине, эмиттерных токов. В результате чего падение напряжения на нагрузке становится равным нулю, следствием этого является подавление отрицательной обратной связи, приводящее к протеканию через транзисторы неуправляемого сквозного тока коллектора вызывающего пробой транзисторов.

Успешное решение проблем устойчивости БТ, позволило бы разрабатывать комплементарные и квазикомплементарные эмиттерные повторители на мощных биполярных транзисторах, устойчивые к действию дестабилизирующих факторов.

Учитывая широкую применимость подобных усилителей в аудио и мультимедийной технике, растущую потребность в снижении стоимости производства и повышении надежности при использовании традиционной элементной базы – БТ, актуальной задачей является исследование возможностей улучшения характеристик за счет применения оригинальных схемных решений, основанных на нетрадиционных подходах. Разработка таких схемных решений и исследования их работоспособности составляют содержание данной научной работы.

Степень изученности проблемы. В комплементарных и квазикомплементарных эмиттерных повторителях, реализованных в рамках традиционных схемотехнических подходов, особое внимание необходимо уделять стабилизации рабочих режимов транзисторов по постоянному току. А, именно, стабилизации сквозного тока и напряжения покоя выходных транзисторов.

В работах Г.С. Цыкина, Г.В. Войшвилло, Л.Е. Варакина, П. Шкритека, А.А. Данилова, Дж. Ленка, Д. Селера изучены схемы КЭП и ККЭП, используемые в выходных каскадах усилителей мощности звуковых частот. Фотовольтаический эффект в солнечных элементах при высоких уровнях возбуждения изучен в работах Ж.И. Алферова, В.И. Андреева и В.Д. Румянцев. Взаимосвязь процессов протекающих при больших мощностях и высоких уровнях возбуждения при создании и изучении инжекционно-вольтаических и составных инжекционно-вольтаических транзисторов совместно изучена в работе Х.К. Арипова, Х.Х. Бустанова, Ж.Т. Максудова и А.А. Ярмухамедова. Однако, КЭП и ККЭП на инжекционно-вольтаических

транзисторах (ИВТ) и трехструктурных инжекционно-вольтаических транзисторах (ТИВТ) до настоящего времени не были изучены.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.

Работа выполнена на кафедрах «Электроники» и "Радиотехники и радиосвязи" Ташкентского университета информационных технологий согласно плану приоритетных научно-технических направлений УзАСИ в рамках НИР № 1-06 «Разработка мощных усилителей на основе инжекционно-вольтаических транзисторов», и инновационной НИР № ИДА-6 «Создание базовых элементов аналоговых и цифровых схем телекоммуникационных устройств на основе инжекционно-фотовольтаического эффектов» выполненной по заданию Координационного Комитета по развитию науки и технологий при Кабинете Министров РУз и УзАСИ.

Целью исследования является решение важной научно-технической проблемы снижения влияния дестабилизирующих факторов на устойчивость сквозного тока покоя выходных каскадов усилителей мощности звуковых частот путем разработки и исследования новых схемотехнических решений построения КЭП и ККЭП.

Задачи исследования. Для достижения цели исследования поставлены и решены следующие задачи:

- анализ возможностей снижения влияния действия дестабилизирующих факторов на устойчивость сквозного тока покоя КЭП и ККЭП;
- разработка математических моделей КЭП на ИВТ и ТИВТ, а также КЭП на составных ИВТ и ТИВТ;
- компьютерное моделирование КЭП на ИВТ и ТИВТ и КЭП на составных ИВТ и ТИВТ на основе разработанных математических моделей;
- экспериментальное исследование устойчивости сквозного тока покоя КЭП на ИВТ и ТИВТ, КЭП и ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ при повышении температуры и при изменении значений напряжений источников питания;
- сравнительная оценка неустойчивости сквозного тока покоя известных и предложенных КЭП и ККЭП от изменения температуры и изменения значений напряжений источников питания.

Объект и предмет исследования. Комплементарные и квазикомплементарные эмиттерные повторители, устойчивые к действию дестабилизирующих факторов.

Методы исследований. Синтез и анализ нелинейных электрических цепей, многопараметрическое моделирование нелинейных электронных схем на БТ, компьютерное моделирование электронных схем на нелинейных элементах, численное решение нелинейных уравнений, статистическая обработка экспериментальных результатов методом средних и наименьших квадратов, экспериментальное определение величин нелинейных искажений.

Гипотеза исследования. Возможности использования новой элементной базы на основе инжекционно-вольтаических транзисторов для построения комплементарных и квазикомплементарных эмиттерных повторителей с целью улучшения их характеристик и устойчивости режима работы к воздействию дестабилизирующих факторов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Принцип построения КЭП на ИВТ и ТИВТ, КЭП и ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ;
2. Математические модели КЭП на ИВТ и ТИВТ и КЭП на составных ИВТ и ТИВТ;
3. Результаты компьютерного моделирования КЭП на ИВТ и ТИВТ и КЭП на составных ИВТ и ТИВТ;
4. Результаты экспериментальных исследований устойчивости сквозного тока покоя КЭП на ИВТ, КЭП и ККЭП на составных ИВТ при повышении температуры;
5. Результаты экспериментальных исследований устойчивости сквозного тока покоя КЭП на ИВТ и ТИВТ, КЭП и ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ при изменении значений питающих напряжений источников.

Научная повизна работы заключается в том, что:

- впервые предложены и разработаны КЭП на ИВТ и ТИВТ, КЭП и ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ;
- разработаны математические модели КЭП на ИВТ и ТИВТ, КЭП на составных ИВТ и ТИВТ и программы расчета величины сквозного тока покоя от изменения значений напряжений источников питания;
- экспериментально показано увеличение более чем на порядок устойчивости величины сквозного тока покоя всех предложенных схем КЭП и ККЭП при повышении температуры и изменении значений напряжений источников питания по сравнению с традиционными схемами;
- установлено, что при повышении значений напряжений источников питания выходные транзисторы предложенных КЭП и ККЭП выдерживают более чем трехкратную перегрузку по рассеиваемой мощности по сравнению с традиционными схемами.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Научная значимость результатов исследований заключается в разработке принципа построения и методики расчета КЭП и ККЭП на составных ИВТ (ТИВТ) являющейся основой для проектирования и практической реализации устойчивых к влиянию дестабилизирующих факторов выходных каскадов усилителей мощности звуковых частот, масштабируемых по параметру выходной мощности.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования определяется возможностью создания линейки усилителей с расширенным диапазоном устойчивой работы по температуре и

напряжению питания с выходной мощностью в диапазоне от десятков мВт до кВт путем выбора биполярного транзистора для ИВТ (ТИВТ).

Реализация результатов. Результаты диссертационной работы явились основой НИР №1-06 «Разработка мощных усилителей на основе инжекционно-вольтаических транзисторов» и № ИДА-6 «Создание базовых элементов аналоговых и цифровых схем телекоммуникационных устройств на основе инжекционно-фотовольтаического эффектов» и рекомендованы для практического использования при построении устойчивых к влиянию дестабилизирующих факторов усилителей мощности звуковых частот. Результаты работы внедрены в АК «Узбектелеком» и в учебный процесс Ташкентского университета информационных технологий, что подтверждается соответствующими документами.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Четвертой международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов стран СНГ. «Техника и технология связи» (Алматы, АИЭС, 2002 г.); 1-м Международном Радиоэлектронном Форуме «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (Харьков, АН ПРЭ, ХНУРЭ, 2002 г.); Международном Форуме «Новые инфокоммуникационные технологии: достижения, проблемы, перспективы», «Техника и технология связи» (Новосибирск, СибГУТИ. 2003 г.); Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития связи и информационных технологий Узбекистана» (Ташкент, ТУИТ, 2005 г.); Международной научной конференции «Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе» (Ташкент, ТУИТ, 2005 г.); Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистров и бакалавров «Информационно-коммуникационные технологии» (Ташкент, ТУИТ, 2005 г.); Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и одаренных студентов «Информационно-коммуникационные технологии» (Ташкент, ТУИТ, 2008 г.); The 9th International Conference on Electronics Information and Communication, June 24-27, 2008, Tashkent, Uzbekistan.

Опубликованность результатов. По результатам проведенных разработок, вошедших в диссертацию, опубликовано 16 печатных работ. Из них 4 статьи в научных журналах, 3 статьи в международном сборнике, в тезисах 3 международных и 3 республиканских конференций. Получены 3 патента на изобретение.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 92 наименований и приложения в виде отдельной книги. Общий объем диссертации 149 страниц, в том числе 121 страниц основного текста, 68 рисунков, 9 таблиц и приложения в виде отдельной книги из 134 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки и исследования мощных комплементарных эмиттерных повторителей на биполярных транзисторах широкого применения с высоким КПД и повышенной устойчивостью. Слабая чувствительность режима работы КЭП и ККЭП к повышению напряжения питания и рабочей температуры, достигнута благодаря инновационным схемным решениям - применению стабилизирующих свойств инжекционно-вольтаического эффекта свойственного БТ. Определена цель исследования, указана научная новизна и практическая ценность результатов, а также сформулированы основные научные положения, выносимые на защиту.

Первая глава содержит анализ литературных данных по созданию усилителей мощности на БТ, называемых бестрансформаторными (БТУ). Характеристики БТУ зависят, в основном, от свойств оконечного каскада. Оконечные каскады БТУ должны обеспечить заданную мощность в нагрузке и высокий КПД, выполняются на основе комплементарных или квазикомплементарных эмиттерных повторителей по двухтактным схемам на транзисторах, работающих в режиме «В» или «АВ». Главная проблема в таких усилителях - стабилизация сквозного тока и напряжения покоя выходных транзисторов, так как неконтролируемый тепловой ток коллектора может обусловить катастрофическую неустойчивость КЭП при возрастании температуры или величин питающего напряжения. Традиционные схемотехнические методы стабилизации малоэффективны и снижают КПД усилителя. Рассмотрена возможность использования новой элементной базы на основе ИВТ и ТИВТ для построения комплементарных и квазикомплементарных эмиттерных повторителей с целью улучшения их характеристик и устойчивости режима работы к воздействию дестабилизирующих факторов.

В конце главы сделаны основные выводы по проведенному обзору и сформулированы задачи исследования.

Во второй главе впервые разработаны, теоретически и экспериментально исследованы КЭП на ИВТ и ТИВТ. На рис.1 приведены принципиальные схемы КЭП на ИВТ и ТИВТ. Сквозной ток покоя КЭП задается с помощью источников начального напряжения смещения E_1 и E_2 . В схеме КЭП на ИВТ используются транзисторы, выполненные на полупроводниковых материалах с разной шириной запрещенных зон, транзисторы VT_1 и VT_2 на основе узкозонного полупроводника (из германия $E_g=0,67$ эВ при $T=300$ К), а VT_3 и VT_4 на основе широкозонного полупроводника (из кремния $E_g= 1,12$ эВ при $T=300$ К). При $T = 300$ К, $A = 1$ разность между ширинами запрещенных зон кремния и германия составляет $0,45$ эВ что больше $4AkT \approx 0,1$ эВ (где A – параметр идеальности вольт-амперной характеристики равный 1 при инжекционном механизме

переноса носителей через р-п переход; k - постоянная Больцмана; T - абсолютная температура). В схеме КЭП на ТИВТ используются транзисторы, выполненные из одинакового полупроводникового материала (кремния).

В п.2.1 на основе многопараметрических моделей БТ исследован КЭП на ИВТ. Произведено его компьютерное моделирование. Для активного режима работы транзисторов сквозной ток покоя определяется следующими выражениями:

$$I_{CK} = I_{Э3} = I_{Э4}; \quad (1)$$

$$I_{Э3} = I_{Э03} [1 + \gamma_1 (E_{П1} - U_{БЭ3})] \exp(b_{Э3} U_{БЭ3}); \quad (2)$$

$$I_{Э4} = I_{Э04} [1 + \gamma_2 (E_{П2} - U_{БЭ4})] \exp(b_{Э4} U_{БЭ4}), \quad (3)$$

где $U_{БЭ3}$ и $U_{БЭ4}$ - напряжения на эмиттерных переходах транзисторов VT3 и VT4:

$$U_{БЭ3} = \frac{1}{b_{Э3}} \ln \left[\frac{I_{CK}}{I_{Э03} [1 + \gamma_1 (E_{П1} - U_{БЭ3})]} \right];$$

$$U_{БЭ4} = \frac{1}{b_{Э4}} \ln \left[\frac{I_{CK}}{I_{Э04} [1 + \gamma_2 (E_{П2} - U_{БЭ4})]} \right];$$

$I_{Э03}, I_{Э04}$ - токи насыщения эмиттерных переходов;

γ_1 и γ_2 - коэффициенты, описывающие эффект Эрли;

$b_{Э3}, b_{Э4}$ - параметры идеальности вольтамперной характеристики (ВАХ) эмиттерного перехода.

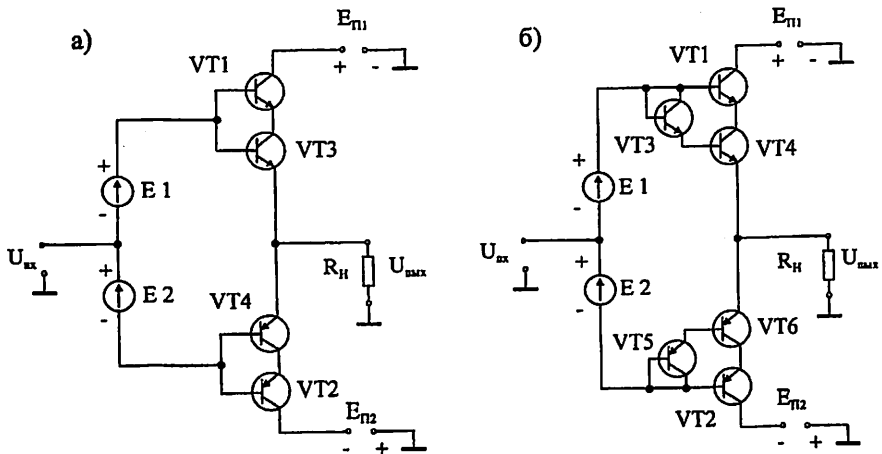


Рис.1. Схемы КЭП на ИВТ (а) и ТИВТ (б)

В режиме насыщения эмиттерные токи VT3 и VT4, определяющие величину сквозного тока покоя, находятся из следующих выражений:

$$I_{Э3} = (\alpha_{N1}\alpha_{N3})\alpha_{N1}I_{Э01}\exp(b_{Э1}U_{БЭ1}) - \alpha_{I1}I_{КО1}\exp(b_{K1}(U_{БЭ3} - E_{П1})); \quad (4)$$

$$I_{Э4} = (\alpha_{N2}\alpha_{N4})\alpha_{N2}I_{Э02}\exp(b_{Э2}U_{БЭ2}) - \alpha_{I2}I_{КО2}\exp(b_{K2}(U_{БЭ4} - E_{П2})), \quad (5)$$

где, $\alpha_{N1}, \alpha_{N2}, \alpha_{N3}, \alpha_{N4}$ - коэффициенты передачи токов эмиттеров VT1, VT2, VT3 и VT4 транзисторов;

$U_{БЭ1}$ и $U_{БЭ2}$ - напряжения на эмиттерных переходах узкозонных транзисторов VT1 и VT2:

$$U_{БЭ1} = \frac{1}{b_{Э1}} \ln \left[\frac{\alpha_{N3}I_{Э03}\exp(b_{Э3}U_{БЭ3}) + \alpha_{I1}I_{КО1}\exp(b_{K1}(U_{БЭ3} - E_{П1}))}{I_{Э01}} \right];$$

$$U_{БЭ2} = \frac{1}{b_{Э2}} \ln \left[\frac{\alpha_{N4}I_{Э04}\exp(b_{Э4}U_{БЭ4}) + \alpha_{I2}I_{КО2}\exp(b_{K2}(U_{БЭ4} - E_{П2}))}{I_{Э02}} \right];$$

$I_{Э01}, I_{Э02}$ - токи насыщения эмиттерных переходов;

$I_{КО1}, I_{КО2}$ - токи насыщения коллекторных переходов транзисторов VT1 и VT2;

α_{I1}, α_{I2} - коэффициенты передачи токов эмиттеров при инверсном включении;

b_{K1}, b_{K2} - параметры идеальности ВАХ коллекторных переходов.

В активном режиме работы транзисторов при постоянных значениях $U_{БЭ3}$ и $U_{БЭ4}$ ток $I_{СК}$ - основная причина неустойчивости - практически не зависит от величин питающих напряжений - то есть неустойчивость подавлена.

Для активного режима работы транзисторов VT3 и VT4 КЭП на ТИВТ сквозной ток покоя определяется следующими выражениями (п.2.3):

$$I_{СК} = I_{Э4} = I_{Э6}; \quad (6)$$

$$I_{Э4} = I_{Э04} [1 + \gamma_1(E_{П1} - U_{Б1})] \exp(b_{Э4}U_{БЭ4}); \quad (7)$$

$$I_{Э6} = I_{Э06} [1 + \gamma_2(E_{П2} - U_{Б2})] \exp(b_{Э6}U_{БЭ6}), \quad (8)$$

где $U_{Б1} = U_{БЭ3} + U_{БЭ4}$ - суммарное напряжение на эмиттерных переходах;

$U_{Б1} = -(U_{БЭ5} + U_{БЭ6})$ - суммарное напряжение на эмиттерных переходах для биполярных транзисторов VT3, VT4, VT5 и VT6, соответственно, выполненных из одинакового полупроводникового материала (например, кремния);

$U_{БЭ4}, U_{БЭ6}, U_{БЭ3}$ и $U_{БЭ5}$ - напряжения на эмиттерных переходах:

$$U_{\text{БЭ4}} = \frac{1}{b_{\text{Э4}}} \ln \left[\frac{I_{\text{СК}}}{I_{\text{Э04}} [1 + \gamma_1 (E_{\text{П1}} - U_{\text{БЭ4}})]} \right];$$

$$U_{\text{БЭ6}} = \frac{1}{b_{\text{Э6}}} \ln \left[\frac{I_{\text{СК}}}{I_{\text{Э06}} [1 + \gamma_2 (E_{\text{П2}} - U_{\text{БЭ6}})]} \right];$$

$$U_{\text{БЭ3}} = \frac{1}{b_{\text{Э3}}} \ln \left[\frac{I_{\text{Э4}} [1 - \alpha_{\text{Н4}}]}{I_{\text{Э03}}} \right];$$

$$U_{\text{БЭ5}} = \frac{1}{b_{\text{Э5}}} \ln \left[\frac{I_{\text{Э6}} [1 - \alpha_{\text{Н6}}]}{I_{\text{Э05}}} \right];$$

$I_{\text{Э03}}, I_{\text{Э04}}, I_{\text{Э05}}$ и $I_{\text{Э06}}$ - токи насыщения эмиттерных переходов;

$\alpha_{\text{Н4}}, \alpha_{\text{Н6}}$ - коэффициенты передачи токов эмиттеров;

γ_1 и γ_2 - коэффициенты, описывающие эффект Эрли;

$b_{\text{Э4}}, b_{\text{Э6}}$ - параметры идеальности ВАХ эмиттерных переходов VT4,

VT6.

В режиме насыщения эмиттерные токи VT4 и VT6, определяющие величину сквозного тока покоя, находятся из следующих выражений:

$$I_{\text{Э4}} = I_{\text{Э04}} \exp(b_{\text{Э4}} U_{\text{БЭ4}}) - \alpha_{\text{Н1}} I_{\text{К01}} \exp(b_{\text{К1}} (U_{\text{Б1}} - E_{\text{П1}})); \quad (9)$$

$$I_{\text{Э6}} = I_{\text{Э06}} \exp(b_{\text{Э6}} U_{\text{БЭ6}}) - \alpha_{\text{Н2}} I_{\text{К02}} \exp(b_{\text{К2}} (U_{\text{Б2}} - E_{\text{П2}})), \quad (10)$$

где $I_{\text{К01}}, I_{\text{К02}}$ - токи насыщения коллекторных переходов;

$\alpha_{\text{Н1}}, \alpha_{\text{Н2}}$ - коэффициенты передачи токов эмиттеров при инверсном включении;

$b_{\text{К1}}, b_{\text{К2}}$ - параметры идеальности ВАХ коллекторных переходов.

Для КЭП на ТИВТ при постоянных значениях $U_{\text{Б1}}$ и $U_{\text{Б2}}$, значение $I_{\text{СК}}$, также, практически не зависит от величин питающих напряжений.

Результаты экспериментального исследования характеристик КЭП на ИВТ (п.2.2) показывают, что, устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания (при $E_{\text{П1}} = E_{\text{П2}}$) от 5В до 50В КЭП на ИВТ в 35,9 раза больше по сравнению с известным КЭП на основе германиевого транзистора. Температурная устойчивость сквозного тока покоя КЭП на ИВТ в 24,6 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе германиевого транзистора.

Результаты экспериментального исследования характеристик КЭП на ТИВТ (п.2.4), показывают, что, устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания (при $E_{\text{П1}} = E_{\text{П2}}$) от 5В до 50В КЭП на ТИВТ в 53,3 раза больше по сравнению с КЭП на основе кремниевого транзистора.

Таким образом, в результате исследований установлено значительное, более чем на порядок, увеличение устойчивости величины сквозного тока покоя при повышении температуры и при изменении значений напряжений

источников питания КЭП на ИВТ и ТИВТ по сравнению с традиционными КЭП на биполярных транзисторах.

В третьей главе впервые предложены, теоретически и экспериментально исследованы КЭП на составных ИВТ и ТИВТ (рис.2). Сквозной ток покоя КЭП задается с помощью одного источника начального смещения E_1 . В схеме КЭП на составных ИВТ транзисторы VT1, VT2, VT3, VT4 – узкозонные (германиевые), а VT5, VT6, VT7, VT8 – широкозонные (кремниевые). В схеме КЭП на составных ТИВТ все транзисторы на основе кремниевого полупроводника.

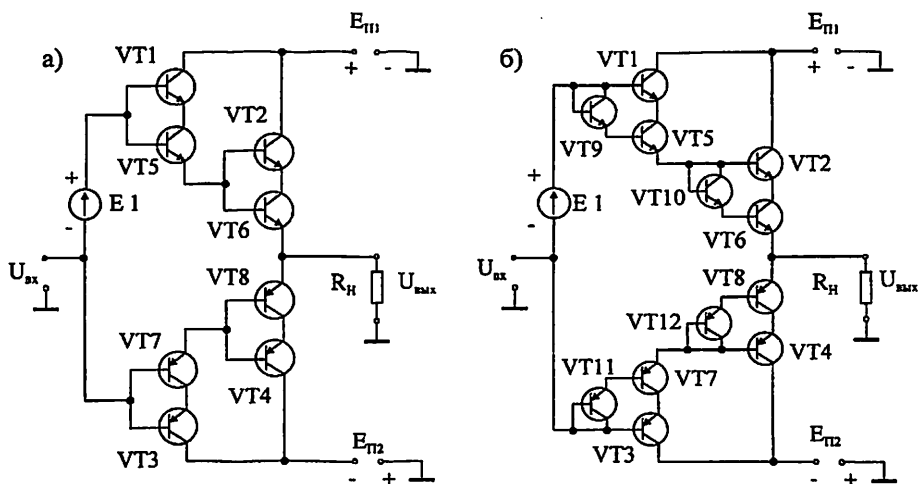


Рис.2. Схемы КЭП на составных ИВТ (а) и ТИВТ (б)

В п.3.1 на основе многопараметрической модели БТ исследован КЭП на составных ИВТ. Произведено его компьютерное моделирование. Для активного режима работы транзисторов сквозной ток покоя определяется следующими выражениями:

$$I_{СК} = I_{36} = I_{38} ; \quad (11)$$

$$I_{36} = I_{306} [1 + \gamma_2 (E_{п1} - U_{Б1} + U_{Б35})] \exp(b_{36} U_{Б36}) ; \quad (12)$$

$$I_{38} = I_{308} [1 + \gamma_2 (E_{п2} - U_{Б11} + U_{Б37})] \exp(b_{38} U_{Б38}) , \quad (13)$$

где $U_{BI} = U_{E35} + U_{E36}$ - суммарное напряжение на эмиттерных переходах транзисторов VT5, VT6;

$U_{BI} = -(U_{E37} + U_{E38})$ - суммарное напряжение на эмиттерных переходах транзисторов VT7, VT8;

U_{E35} , U_{E36} , U_{E37} и U_{E38} - напряжения на эмиттерных переходах:

$$U_{E35} = \frac{1}{b_{35}} \ln \left[\frac{(1 - \alpha_{N2} \alpha_{N6}) I_{CK}}{I_{305} [1 + \gamma_1 (E_{PI} - U_{E35} + U_{E36})]} \right];$$

$$U_{E36} = \frac{1}{b_{36}} \ln \left[\frac{I_{CK}}{I_{306} [1 + \gamma_2 (E_{PI} - U_{E36})]} \right];$$

$$U_{E37} = \frac{1}{b_{37}} \ln \left[\frac{(1 - \alpha_{N4} \alpha_{N8}) I_{CK}}{I_{307} [1 + \gamma_3 (E_{PI2} - U_{E37} + U_{E38})]} \right];$$

$$U_{E38} = \frac{1}{b_{38}} \ln \left[\frac{I_{CK}}{I_{308} [1 + \gamma_4 (E_{PI2} - U_{E38})]} \right];$$

I_{305} , I_{306} , I_{307} , I_{308} - токи насыщения эмиттерных переходов транзисторов VT5, VT6, VT7 и VT8;

α_{N2} , α_{N4} , α_{N6} , α_{N8} - коэффициенты передачи токов эмиттеров транзисторов VT2, VT4, VT6 и VT8;

γ_1 , γ_2 , γ_3 и γ_4 - коэффициенты, описывающие модуляцию ширины базы ИВТ (эффект Эрли);

b_{35} , b_{36} , b_{37} и b_{38} - параметры идеальности ВАХ эмиттерных переходов VT5, VT6, VT7 и VT8.

В режиме насыщения эмиттерные токи транзисторов VT6 и VT8 определяющие величину сквозного тока покоя находятся из следующих выражений:

$$I_{36} = I_{35} + I_{K2}; \quad (14)$$

$$I_{38} = I_{37} + I_{K4}; \quad (15)$$

$$I_{35} = \frac{I_{K1}}{\alpha_{N1} \alpha_{N5}}; \quad (16)$$

$$I_{37} = \frac{I_{K3}}{\alpha_{N3} \alpha_{N7}}; \quad (17)$$

$$I_{K1} = \alpha_{N1} \alpha_{N5} I_{305} \exp(b_{35} U_{E35}) - I_{K01} \exp(b_{K1} ((U_{E35} + U_{E36}) E_{PI})); \quad (18)$$

$$I_{K2} = \alpha_{N2} \alpha_{N6} I_{306} [1 + \gamma_2 (E_{PI} - U_{E36})] \exp(b_{36} U_{E36}); \quad (19)$$

$$I_{K3} = \alpha_{N3} \alpha_{N7} I_{307} \exp(b_{37} U_{E37}) - I_{K03} \exp(b_{K3} ((U_{E37} + U_{E38}) E_{PI2})); \quad (20)$$

$$I_{K4} = \alpha_{N4} \alpha_{N8} I_{308} [1 + \gamma_4 (E_{PI2} - U_{E38})] \exp(b_{38} U_{E38}); \quad (21)$$

где I_{K1} , I_{K2} , I_{K3} , I_{K4} - коллекторные токи транзисторов VT1, VT2, VT3, VT4 в режиме насыщения;

I_{K01}, I_{K03} - токи насыщения коллекторных переходов транзисторов VT1 и VT3;

$\alpha_{N3}, \alpha_{N5}, \alpha_{N7}$ - коэффициенты передачи токов эмиттеров транзисторов VT3, VT5 и VT7;

b_{K1}, b_{K3} - параметры идеальности ВАХ коллекторных переходов транзисторов VT1 и VT3.

В активном режиме работы транзисторов при постоянных значениях $U_{Б1}$ и $U_{Б11}$ ток $I_{СК}$ - основная причина неустойчивости - практически не зависит от величин питающих напряжений - то есть неустойчивость подавлена.

Для активного режима работы транзисторов КЭП на составных ТИВТ сквозной ток покоя определяется следующими выражениями (п.3.3):

$$I_{СК} = I_{Э6} = I_{Э8}; \quad (22)$$

$$I_{Э6} = I_{Э06} [1 + \gamma_2 (E_{П1} - U_{Б1} + U_{Б1})] \exp(b_{Э6} U_{Б36}); \quad (23)$$

$$I_{Э8} = I_{Э08} [1 + \gamma_4 (E_{П2} - U_{Б11} + U_{Б3})] \exp(b_{Э8} U_{Б38}), \quad (24)$$

где $U_{Б1} = U_{Б39} + U_{Б35} + U_{Б310} + U_{Б36}$ - суммарное напряжение на эмиттерных переходах транзисторов VT9, VT5, VT10, VT6

$U_{Б11} = U_{Б35} + U_{Б39}$ - суммарное напряжение на эмиттерных переходах транзисторов VT5, VT9;

$U_{Б11} = -(U_{Б311} + U_{Б37} + U_{Б312} + U_{Б38})$ - суммарное напряжение на эмиттерных переходах транзисторов VT11, VT7, VT12, VT8

$U_{Б3} = U_{Б37} + U_{Б311}$ - суммарное напряжение на эмиттерных переходах транзисторов VT7, VT11;

$$U_{Б35} = \frac{1}{b_{Э5}} \ln \left[\frac{(1 - \alpha_{N2} \alpha_{N6}) I_{СК}}{I_{Э05} [1 + \gamma_1 (E_{П1} - U_{Б35})]} \right];$$

$$U_{Б36} = \frac{1}{b_{Э6}} \ln \left[\frac{I_{СК}}{I_{Э06} [1 + \gamma_2 (E_{П1} - U_{Б36})]} \right];$$

$$U_{Б37} = \frac{1}{b_{Э7}} \ln \left[\frac{(1 - \alpha_{N4} \alpha_{N8}) I_{СК}}{I_{Э07} [1 + \gamma_3 (E_{П1} - U_{Б38})]} \right];$$

$$U_{Б38} = \frac{1}{b_{Э8}} \ln \left[\frac{I_{СК}}{I_{Э08} [1 + \gamma_4 (E_{П1} - U_{Б38})]} \right];$$

$$U_{Б39} = \frac{1}{b_{Э9}} \ln \left[\frac{(1 - \alpha_{N5})(1 - \alpha_{N2} \alpha_{N5}) I_{СК}}{I_{Э09}} \right];$$

$$U_{Б310} = \frac{1}{b_{Э10}} \ln \left[\frac{(1 - \alpha_{N6}) I_{СК}}{I_{Э010}} \right];$$

$$U_{Б311} = \frac{1}{b_{Э11}} \ln \left[\frac{(1 - \alpha_{N7})(1 - \alpha_{N4} \alpha_{N7}) I_{СК}}{I_{Э011}} \right];$$

$$U_{Б312} = \frac{1}{b_{Э12}} \ln \left[\frac{(1 - \alpha_{N8}) I_{СК}}{I_{Э012}} \right];$$

$I_{Э05}, I_{Э06}, I_{Э07}, I_{Э08}, I_{Э09}, I_{Э010}, I_{Э011}, I_{Э012}$ - токи насыщения эмиттерных переходов транзисторов VT5, VT6, VT7, VT8, VT9, VT10, VT11, VT12;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ и γ_4 - коэффициенты, описывающие модуляцию ширины базы (эффект Эрли) ТИВТ;

$b_{35}, b_{36}, b_{37}, b_{38}, b_{39}, b_{310}, b_{311}, b_{312}$ – параметры идеальности ВАХ эмиттерных переходов транзисторов VT5, VT6, VT7, VT8, VT9, VT10, VT11, VT12;

$\alpha_{N2}, \alpha_{N4}, \alpha_{N5}, \alpha_{N6}, \alpha_{N7}, \alpha_{N8}$ – коэффициенты передачи токов эмиттеров транзисторов VT2, VT4, VT5, VT6, VT7 и VT8.

В режиме насыщения эмиттерные токи VT6 и VT8, определяющие величину сквозного тока покоя, находятся из следующих выражений:

$$I_{36} = I_{305} \exp(b_{35} U_{Б35}) + I_{306} \exp(b_{36} U_{Б36}) - \alpha_{11} I_{K01} \exp(b_{K1} (U_{Б1} - E_{П1})); \quad (25)$$

$$I_{38} = I_{307} \exp(b_{37} U_{Б37}) + I_{308} \exp(b_{38} U_{Б38}) - \alpha_{13} I_{K03} \exp(b_{K3} (-U_{Б1} + E_{П2})), \quad (26)$$

где I_{K01}, I_{K02} – токи насыщения коллекторных переходов транзисторов VT1 и VT2;

α_{11}, α_{13} – коэффициенты передачи токов эмиттеров при инверсном включении транзисторов VT1 и VT3;

b_{K1}, b_{K3} – параметры идеальности ВАХ коллекторных переходов транзисторов VT1 и VT3.

Для КЭП на составных ТИВТ при постоянных значениях $U_{Б1}$ и $U_{Б11}$, значение $I_{СК}$, также, практически не зависит от величин питающих напряжений.

Результаты экспериментального исследования характеристик КЭП на составных ИВТ (п.3.2) показывают, что устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания (при $E_{П1} = E_{П2}$) от 5В до 50В КЭП на составных ИВТ в 28,7 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе составных германиевых транзисторов. Температурная устойчивость сквозного тока покоя КЭП на составных ИВТ в 51,5 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе составных германиевых транзисторов.

Результаты экспериментального исследования характеристик КЭП на составных ТИВТ (п.3.4), показывают, что устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания (при $E_{П1} = E_{П2}$) от 5В до 50В КЭП на составных ТИВТ в 27,7 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе составных кремниевых транзисторов.

В п.3.5 для проверки предложенного схемного решения КЭП на составных ТИВТ разработан и исследован макет усилителя мощности на основе трехкаскадного КЭП на составных ТИВТ. Усилитель имеет номинальное входное напряжение - 1В; входное сопротивление – 100 кОм; номинальную выходную мощность – 30 Вт на нагрузке 8 Ом и 60 Вт на нагрузке 4 Ом; диапазон усиливаемых частот при неравномерности АЧХ не более 1 дБ - 20 ÷ 20000 Гц; коэффициент гармоник при номинальной выходной мощности в указанном диапазоне частот – не более 0,1%.

Таким образом, в результате исследований установлено значительное, более чем на порядок, увеличение устойчивости величины сквозного тока покоя при повышении температуры и при изменении значений напряжений источников питания КЭП на составных ИВТ и ТИВТ по сравнению с традиционными КЭП на составных биполярных транзисторах.

В четвертой главе в п.4.1 указан основной недостаток КЭП на составных ИВТ и ТИВТ - при реализации КЭП выходные разнотипные транзисторы должны быть обязательно подобраны с одинаковыми параметрами. Это усложняет изготовление КЭП при исполнении на дискретных элементах, а интегральное исполнение вызывает ещё больше сложностей. Выходом из этого сложного положения является схемотехническое решение - использование однотипных выходных транзисторов, т. е. следует осуществить переход от схемы комплементарного к схеме квазикомплементарного эмиттерного повторителя (ККЭП). Таким образом, для устранения этого недостатка КЭП на составных ИВТ и ТИВТ впервые предложены, экспериментально исследованы ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ (рис.3). В схеме ККЭП на составных ИВТ транзисторы VT1, VT2, VT3, VT4 - узкозонные (германиевые), а VT5, VT6, VT7, VT8 - широкозонные (кремниевые). В схеме ККЭП на составных ТИВТ все транзисторы на основе кремниевого полупроводника.

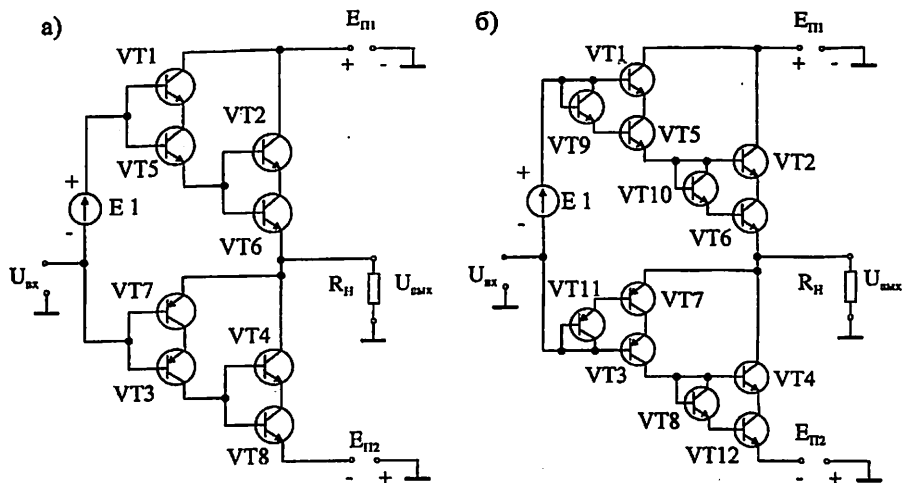


Рис.3. Схемы ККЭП на составных ИВТ (а) и ТИВТ (б)

В п.4.2 приведены результаты экспериментального исследования характеристик ККЭП на составных ИВТ транзисторах. Установлено, что устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания (при $E_{П1} = E_{П2}$) от 5В до 50В ККЭП на составных ИВТ в 86 раз больше по сравнению с известным ККЭП на составных германиевых транзисторах. Температурная устойчивость сквозного тока покоя ККЭП на составных ИВТ в 83 раз больше по сравнению с известным ККЭП на основе составных германиевых транзисторах.

В п.4.3 приведены результаты экспериментального исследования характеристик ККЭП на составных ТИВТ. Установлено что, устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания (при $E_{П1} = E_{П2}$) от 5В до 50В ККЭП на составных ТИВТ в 34 раз больше по сравнению с известным КЭП на составных кремниевых транзисторах.

В п.4.4 для проверки предложенного схемного решения ККЭП на составных ТИВТ разработан и исследован макет усилителя мощности на основе трехкаскадного ККЭП на составных ТИВТ. Усилитель имеет номинальное входное напряжение - 1В; входное сопротивление - 100 кОм; номинальную выходную мощность - 30 Вт на нагрузке 8 Ом и 60 Вт на нагрузке 4 Ом; диапазон усиливаемых частот при неравномерности АЧХ не более 1 дБ - 20 ÷ 20000 Гц; коэффициент гармоник при номинальной выходной мощности и в указанном диапазоне частот - не более 0,1%.

Таким образом, в результате исследований установлено значительное, более чем на порядок, увеличение устойчивости величины сквозного тока покоя при повышении температуры и при изменении значений напряжений источников питания ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ по сравнению с традиционными ККЭП на составных биполярных транзисторах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые предложены и разработаны КЭП на ИВТ и ТИВТ, КЭП и ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ.
2. Разработаны математические модели КЭП на одиночных и на составных ИВТ и ТИВТ. На их основе создан пакет программ для расчета токораспределения в КЭП и зависимости величины сквозного тока покоя КЭП от изменения значений напряжений источников питания.
3. Установлено, что устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания КЭП на ИВТ в 35,9 раза больше по сравнению с известным КЭП на основе германиевого транзистора, а для КЭП на ТИВТ в 53,3 раза больше по сравнению с известным КЭП на основе кремниевого транзистора. Температурная

- устойчивость сквозного тока покоя КЭП на ИВТ в 24,6 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе германиевого транзистора.
4. Показано, что устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания КЭП на составных ИВТ в 28,7 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе составных германиевых транзисторах, а для КЭП на составных ТИВТ в 27,7 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе составных кремниевых транзисторах. Температурная устойчивость сквозного тока покоя КЭП на составных ИВТ в 51,5 раз больше по сравнению с известным КЭП на составных германиевых транзисторах.
 5. Установлено, что устойчивость сквозного тока покоя при изменении значений напряжений источников питания ККЭП на составных ИВТ в 86 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе составных германиевых транзисторах, а для ККЭП на составных ТИВТ в 34 раз больше по сравнению с известным КЭП на основе составных кремниевых транзисторах. Температурная устойчивость сквозного тока покоя ККЭП на составных ИВТ в 83 раз больше по сравнению с известным ККЭП на составных германиевых транзисторах.
 6. Показано, что выходные транзисторы предложенных КЭП и ККЭП при повышении значений напряжений источников питания выдерживают более чем трех кратную перегрузку по рассеиваемой мощности по сравнению с традиционными схемами КЭП и ККЭП.
 7. Разработанный принцип построения и методика расчета КЭП и ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ, позволяют создать линейку усилителей с выходной мощностью от десятков мВт до кВт, устойчивых к влиянию дестабилизирующих факторов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Атаханов Ш.Н., Фазилжанов И.Р. Исследование комплементарного эмиттерного повторителя // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». - Ташкент, 2001. № 3-4. - С. 84-88.
2. Предварительный патент РУз № IDP 05016. Комплементарный эмиттерный повторитель / Арипов Х.К., Атаханов Ш.Н., Бустанов Х.Х., Касимов С.С., Фазилжанов И.Р. // Бюлл. № 6, 31. 12.2001.
3. Предварительный патент РУз № IDP 05126. Комплементарный эмиттерный повторитель / Арипов Х.К., Бустанов Х.Х., Касимов С.С., Фазилжанов И.Р. // Бюлл. № 2, 30.04.2002.
4. Фазилжанов И.Р. Комплементарный эмиттерный повторитель с расширенным диапазоном устойчивой работы // Четвертая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов стран СНГ. «Техника и технология связи», Труды конференции – Алматы, 2002.-С. 362-364.

5. Арипов Х.Н., Фазилжанов И.Р. Исследование квазикомплементарного эмиттерного повторителя с расширенным диапазоном устойчивой работы // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики». – Ташкент, 2002, №5.- С. 25-30.

6. Арипов Х.К., Бустанов Х.Х., Касимов С.С., Фазилжанов И.Р. Квазикомплементарный эмиттерный повторитель с расширенным диапазоном устойчивой работы // 1-й Международный Радиоэлектронный Форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». МРФ – 2002. Сб. науч. трудов. Часть 2.- Харьков: АН ПРЭ, ХНУРЭ. 2002, С. 460-463.

7. Фазилжанов И.Р. Комплементарный эмиттерный повторитель с расширенным диапазоном устойчивой работы // Узбекский журнал «Проблемы информатики и энергетики».- Ташкент, 2003, № 4.- С. 56-61.

8. Фазилжанов И.Р. Исследование комплементарного эмиттерного повторителя с расширенным диапазоном устойчивой работы // Международный Форум. «Новые инфокоммуникационные технологии: достижения, проблемы, перспективы». Том 3. «Техника и технология связи». Тез. докл. международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов стран СНГ.- Новосибирск: СибГУТИ. 2003. С. 33-35.

9. Фазилжанов И. Р. Математическая модель инжекционно – вольтаического транзистора // Республиканская научно-техническая конференция аспирантов, магистров и бакалавров «Информационно-коммуникационные технологии». Сб. докладов.- Ташкент ТУИТ, 2005.- С. 83-85.

10. Фазилжанов И.Р. Математическая модель трехструктурного инжекционно-вольтаического транзистора // Республиканская научно-техническая конференция аспирантов, магистров и бакалавров «Информационно-коммуникационные технологии». Сб. докладов.– Ташкент, 2005.- С. 85- 87.

11. Арипов Х.К., Бустанов Х.Х., Фазилжанов И.Р. Исследование комплементарного эмиттерного повторителя на инжекционно- вольтаических транзисторах // Международная научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития связи и информационных технологий Узбекистана». Доклады и тезисы конференции. – Ташкент, 2005. - С. 139-141.

12. Арипов Х.К., Фазилжанов И.Р. Исследование амплитудно – частотных характеристик комплементарного эмиттерного повторителя на инжекционно–вольтаических транзисторах // Труды международной научной конференции «Роль и значение телекоммуникаций и информационных технологий в современном обществе». I-том. – Ташкент, 2005.- С. 125- 128.

13. Патент РУз № IAP 03030. Квазикомплементарный эмиттерный повторитель / Арипов Х.К., Бустанов Х.Х., Касимов С.С., Фазилжанов И.Р. // Бюлл. № 2, 28.04.2006.

14. Фазилжанов И.Р. Исследование амплитудно – частотных характеристик комплементарного эмиттерного повторителя на составных инжекционно–вольтаических транзисторах (схема Дарлингтона) // Вестник ТУИТ.- Ташкент, 2007, №1.- С. 42- 45.

15. Фазилжанов И.Р. Комплементарный эмиттерный повторитель на трехструктурных инжекционно-вольтаических транзисторах // Республиканская научно-техническая конференция аспирантов, магистров и бакалавров «Информационно-коммуникационные технологии». Сб. докладов. – Ташкент, 2008.- С. 196.

16. Kh.K. Aripov, Kh.Kh. Bustanov, I. Faziljanov, G. Jalilov, E.V. Ob'edkov, F.R. Nasirkhodjaev. Stable emitter followers based on injection-voltaic transistors for power amplifier // Thesis for a report at the 9th International Conference on Electronics, Information and Communication «ICEIC 2008».- Tashkent, 2008.-P. 597-599.

Техника фанлари номзоди илмий даражасига талабгор Фазилжанов Исмаил Рустамовичнинг 05.12.04 - «Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари ва қурилмалари» ихтисослиги бўйича «Инжекцион-вольтаик транзисторлар асосидаги комплементар эмиттер тақрорлагичлар» мавзусидаги диссертациясининг

РЕЗЮМЕСИ

Таянч (энг муҳим) сўзлар: Инжекцион-вольтаик транзистор (ИВТ), уч структурали инъекцион-вольтаик транзистор (УИВТ), ИВТ ва УИВТ асосидаги комплементар эмиттер тақрорлагичли (КЭТ) и квазикомплементар эмиттер тақрорлагич (ККЭТ).

Тадқиқот объектлари: Кенг диапазонда барқарор ишлайдиган ИВТ ва УИВТ асосидаги КЭТ ва ККЭТ.

Ишнинг мақсади: Температура ва кучланиш бўйича кенг диапазонда барқарор ишлайдиган ИВТ ва УИВТ асосидаги КЭТ ва ККЭТларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ этиш.

Тадқиқот методлари: Ночизикли электр занжирларни синтез ва анализи, ночизикли элементларда бажарилган электрон схемаларни компьютерда моделилаш, ночизикли тенгламаларни итерация усулида ечиш, ўрта ва энг кичик квадратлар учули ёрдамида тажриба натижаларини статистик қайта ишлаш, ночизикли бузилишларни тажрибада аниқлаш.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: ИВТ, УИВТ ҳамда таркибий транзисторлар асосидаги КЭТ ва ККЭТлар илк марта тақлиф этилган, назарий ва тажриба усулда тадқиқ этилган. Барча КЭТ ва ККЭТларда кучланиш манбаи қиймати ва температура ўзгаришида тўғридан-тўғри ўтувчи сокинлик тоқининг барқарорлиги бир тартибдан юқориликка эришилган.

Амалий аҳамияти: Ишлаб чиқилган ИВТ ва УИВТ асосидаги КЭТ ва ККЭТ схемалари қувват кучайтиригичлари чиқиш каскадларининг нобарқарорлигига олиб келувчи омилларга бардошлигини ошириш муаммоларни самарали ечимига олиб келади.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Тадқиқот натижалари № 1-06 «Инжекция – вольтаик транзисторлар асосида қувват кучайтиригичларини ишлаб чиқиш» мавзусидаги хўжалик шартномасини, ҳамда ЎЗР Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги фан ва технологияларни ривожлантириш шни мувофиқлаштирувчи кенгаш гранти бўйича бажарилган «Инжекция-вольтаик эффект асосида телекоммуникация қурилмалари аналог ва рақамли схемаларининг негиз элементларини яратиш» мавзусидаги инновация лойиҳасини бажариш жараёнида қўлланилган.

Қўлланиш (фойдаланиш) соҳаси: Тақлиф этилган КЭТ ва ККЭТлар аудиокомпелекслар, радиотехник, телевизион ва мультимедиа тизимлари ва қурилмаларида қувват кучайтиригичларининг чиқиш каскадлари сифатида қўлланилади.

РЕЗЮМЕ

диссертации Фазилжанова Исмаил Рустамовича на тему: «Комплементарный эмиттерный повторитель на инжекционно-вольтаических транзисторах» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.04 – «Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и телевидения»

Ключевые слова: Инжекционно-вольтаический транзистор (ИВТ), трехструктурный инжекционно-вольтаический транзистор (ТИВТ), комплементарный эмиттерный повторитель (КЭП) и квазикомплементарный эмиттерный повторитель (ККЭП) на ИВТ и ТИВТ.

Объекты исследования: Схемы КЭП и ККЭП на ИВТ и ТИВТ с расширенным диапазоном устойчивой работы.

Цель работы: Разработка и исследование КЭП и ККЭП с расширенным диапазоном устойчивой работы по температуре и напряжению питания.

Методы исследования: Синтез и анализ нелинейных электрических цепей, компьютерное моделирование электронных схем на нелинейных элементах, численное решение нелинейных уравнений, статистическая обработка экспериментальных результатов методом средних и наименьших квадратов, экспериментальное определение нелинейных искажений.

Полученные результаты и их новизна: Впервые предложены, теоретически и экспериментально исследованы КЭП на ИВТ и ТИВТ, на составных ИВТ и ТИВТ, ККЭП на составных ИВТ и ТИВТ. Получено значительное - более чем на порядок, увеличение устойчивости величины сквозного тока покоя при повышении температуры и при изменении значений напряжений источников питания всех КЭП и ККЭП.

Практическая значимость: Разработанные схемы КЭП и ККЭП на ИВТ и ТИВТ эффективно решают проблему создания устойчивых к влиянию дестабилизирующих факторов оконечных каскадов усилителей мощности.

Степень внедрения и экономическая эффективность: Результаты исследований использованы при выполнении договорной работы № 1-06 «Разработка мощных усилителей на основе инжекционно-вольтаических транзисторах», выполненной на основе плана приоритетных НИР УзАСИ и № ИДА-6 «Создание базовых элементов аналоговых и цифровых схем телекоммуникационных устройств на основе инжекционно-вольтаического эффекта», выполненного по гранту комитета по координации развития науки и технологий при Кабинете Министров РУз.

Область применения: Предложенные КЭП и ККЭП применяются в качестве оконечного каскада усилителя мощности в аудиокомплексах, в радиотехнических, телевизионных и мультимедийных системах и устройствах.

RESUME

Thesis of Faziljanov Ismail on the scientific degree competition of the doctor of philosophy in technical on speciality 05.12.04 – «Systems and devices of a radio-engineering, a radio navigation, a radiolocation and a television» subject: «The complementary emitter followers-on injection-voltaic transistors»

Key words: Injection-voltaic transistor (IVT), the three-structural injection-voltaic transistor (TIVT), the complementary emitter followers (CEF) and the quasi-complementary emitter followers (QCEF) on (IVT) and (TIVT)

Subjects of research: Circuits of CEF and QCEF on IVT and TIVT with the enhanced range of stable work on temperature and supply voltage.

Purpose of work: Elaboration and research of CEF and QCEF with the enhanced range of stable work on temperature and supply voltage.

Methods of research: Synthesis and the analysis of non-linear electric circuits, computer modeling of electronic circuits of non-linear elements, the numerical solution of the non-linear equations, statistical processing of the experimental results by the method of average and least quadrates, the experimental determination of nonlinear distortions.

The results obtained and their novelty: For the first time are offered, theoretically and experimentally explored CEF on IVT and TIVT, on composite IVT and TIVT, QCEF on composite IVT and TIVT. Considerable is obtained - more than on the order, increase of stability of value of a through quiescent current at rise in temperature and at variation of values of supply voltages for all CEF and QCEF.

Practical value: Elaborating circuits CEF and QCEF on IVT and TIVT effectively solve a problem of creation of terminal stages of power amplifiers with tolerance against influence of destabilizing factors.

Degree of embed and economic effectivity: Results of investigation are used in accomplishment of contractual work № 1-06 «Development of powerful boosters based on a injection-voltaic transistors», which carried-out in according to the plan of priority Scientific analysis work of UzACI and № IDA-6 «Design of basis elements of analogue and digital circuits of telecommunication devices based on injection-voltaic effects», which carried-out under the grant of committee on coordination of the development of science and technologies at Cabinet of Republic of Uzbekistan.

Field of application: Offered CEF and QCEF are applied as a final stage of power amplifier in audio systems, radio engineering, television and multimedia systems and devices.