

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.28.12.2017.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АЛИМОВА НОДИРА БАТИРДЖАНОВНА**

**ФОТО- ВА ИНЖЕКЦИЯ-ВОЛЬТАИК ЭФФЕКТЛАР ҚЎЛЛАНИЛИШИ**  
**АСОСИДА РАДИОТЕХНИК ЭЛЕМЕНТЛАР, ТУГУНЛАР ВА**  
**ҚУРИЛМАЛАРНИНГ ТУЗИЛИШ ТАМОЙИЛЛАРИ ВА УСУЛЛАРИ**

**05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари**  
**ва қурилмалари. Мобиль, толаоптик алоқа тизимлари (техника соҳаси)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ДОКТОРИ (DSc)**  
**ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2019**

**Техника фанлари доктори (DSc) диссертацияси  
автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации доктора (DSc)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of the doctor of sciences (DSc)  
on technical sciences**

**Алимова Нодира Батирджановна**

Фото- ва инжекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида радиотехник  
элементлар, тугунлар ва қурималарнинг тузилиш тамойиллари ва усуллари....3

**Алимова Нодира Батирджановна**

Принципы и методы построения радиотехнических элементов, узлов и  
устройств на основе использования фото- и инъекционно-вольтаических  
эффектов.....25

**Alimova Nodira Batirdjanovna**

Principles and methods for constructing radio technical elements, assemblies and  
devices based on photo- and injection-voltaic effects.....47

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....51

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**  
**ҲУЗУРИДАГИ ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ**  
**DSc.28.12.2017.Т.07.02 РАҚАМЛИ ИЛМий КЕНГАШ**

---

**ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ**

**АЛИМОВА НОДИРА БАТИРДЖАНОВНА**

**ФОТО- ВА ИНЖЕКЦИЯ-ВОЛЬТАИК ЭФФЕКТЛАР ҚЎЛЛАНИЛИШИ**  
**АСОСИДА РАДИОТЕХНИК ЭЛЕМЕНТЛАР, ТУГУНЛАР ВА**  
**ҚУРИЛМАЛАРНИНГ ТУЗИЛИШ ТАМОЙИЛЛАРИ ВА УСУЛЛАРИ**

**05.04.02 – Радиотехника, радионавигация, радиолокация ва телевидение тизимлари**  
**ва қурилмалари. Мобиль, толаоптик алоқа тизимлари (техника соҳаси)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ ДОКТОРИ (DSc) ДИССЕРТАЦИЯСИ**  
**АВТОРЕФЕРАТИ**

**Тошкент – 2019**

**Фан доктори (DSc) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида В2019.3.DSc/T305 рақам билан рўйхатга олинган.**

Диссертация Тошкент ахборот технологиялари университетидеда бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) ва «ZiyoNet» ахборот-таълим портали ([www.ziyo.net](http://www.ziyo.net)) жойлаштирилган.

<b>Илмий маслаҳатчи:</b>	<b>Арипов Хайрулла Кабилович</b> физика-математика фанлари доктори, профессор
<b>Расмий оппонентлар:</b>	<b>Раджабов Тельман Дадаевич</b> физика-математика фанлари доктори, профессор, академик <b>Рахимов Бахтиёржон Неъматович</b> техника фанлари доктори <b>Ташманов Эржан Байматович</b> техника фанлари доктори
<b>Етакчи ташкилот:</b>	<b>Тошкент темир йўл муҳандислари институти</b>

Диссертация ҳимояси Тошкент ахборот технологиялари университети ҳузуридаги DSc.28.12.2017.T.07.02 рақамли Илмий кенгашнинг 2019 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ соат \_\_ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100202, Тошкент шаҳри, Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

Диссертация билан Тошкент ахборот технологиялари университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин ( \_\_\_\_-рақам билан рўйхатга олинган. Манзил: 100202, Тошкент ш., Амир Темур кўчаси, 108-уй. Тел.: (99871) 238-64-44).

Диссертация автореферати 2019 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ да тарқатилди.  
(2019 йил «\_\_» \_\_\_\_\_ даги \_\_\_\_ рақамли реестр баённомаси)

\

**И.Х. Сиддиқов**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш раиси, т.ф.д., проф.

**Ж.Х. Джуманов**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш илмий котиби, т.ф.д., доц.

**А.Абдуқаюмов**  
Илмий даражалар берувчи илмий  
кенгаш қошидаги илмий семинар  
раиси, т.ф.д., проф.

## **КИРИШ (фан доктори (DSc) диссертацияси аннотацияси)**

**Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурлиги.** Жаҳонда сўнгги вақтларда кенг ривожланаётган микроэлектроника соҳасида юқори ишчи токли, паст кучланишли, кам қувватли, барқарор параметрларга эга бўлган радиотехника тизимларини фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосидаги элементлари, тугунлари ҳамда қурилмаларини тузиш тамойиллари ва усулларини ишлаб чиқиш алоҳида аҳамият касб этади. Бу борада, ишчи тоқларни ошириш ва кичик қувватни истеъмолини таъминловчи кичик кучланишларни ҳосил қилиш фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишлайдиган радиотехник элементлар ҳамда қурилмалар параметрларини турғунлигини оширишнинг янги усулларини ишлаб чиқишни талаб этади ва буларни барчаси замонавий микроэлектрониканинг асосий муаммоларидан бири ҳисобланади.

Жаҳонда ҳозирги кунга келиб кучайтиргичли яримўтказгичли тузилмалар ва комплиментар транзисторларда кечадиган фото- ва инъекция-вольтаик эффектларни ўрганишга катта эътибор қаратилмоқда. Бу борада берилган параметрларга эга ток ва кучланиш генераторларини яратиш мақсадида ва кейинчалик бу эффектларни электрон қайта уланувчи ячейкаларга мослаштириш, ҳамда гомоўтишли ва гетероўтишли таркибий транзисторлар параметрлари турғунлигини ошириш, ва ниҳоят, чиқишдаги сигнали бузилмаган, фото- ва инъекция-вольтаик эффектларга асосланган радиотехник қурилмаларни яратиш каби тадқиқотларни олиб бориш замонавий схемотехника санъатининг муҳим вазифаларидан бири ҳисобланади.

Республикамизда ишлаш сифати ва самарадорликни ошириш учун янги замонавий эффект, ҳодиса ва жараёнларни қўллаш асосида турли мақсадлардаги радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларни такомиллаштиришга йўналтирилган тадқиқотларга катта эътибор қаратилмоқда. 2017-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегиясида, жумладан “...иқтисодиётнинг энергия ва ресурс сарфини қисқартириш, ишлаб чиқаришга энергия тежайдиган технологияларни кенг жорий этиш, иқтисодиёт тармоқларида меҳнат унумдорлигини ошириш, ...ахборот-коммуникация технологияларни иқтисод, ижтимоий соҳа, бошқариш тизимларига жорий этилиши”<sup>1</sup> каби вазифалар белгиланган. Диссертация тадқиқотлари натижалари маълум даражада мазкур вазифаларни амалга оширишга ҳизмат қилади, жумладан, радиотехник қурилмаларнинг катта қувватли чиқиш каскадлари ва яримўтказгичли қайта уланувчи асбоблар асосидаги кучли ток коммутаторларининг турғун ишлаши муаммоларини ечиш, ҳамда мантиқий сатҳ кучланишларини 1 В ва ундан паст қийматга пасайтириш асосий вазифалардан ҳисобланади.

---

<sup>1</sup> Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги № ПФ-4947 «Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида» ги Фармони.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги ПФ-4947-сон “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича ҳаракатлар дастури тўғрисида”ги Фармони, 2017 йил 17 февралдаги ПҚ-2789-сон “Фанлар академияси фаолияти, илмий-тадқиқот ишларини ташкил этиш, бошқариш ва молиялаштиришни янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ва 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682 “Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги Қарорлари ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишда ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

**Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишига мослиги.** Мазкур тадқиқот республика фан ва технологиялар ривожининг III. “Энергетика, энергоресурс тежамкорлиги, транспорт, машина ва асбобсозлик, замонавий электроника, микроэлектроника, фотоника, электрон асбобсозлиги ривожланиши” ва IV. “Ахборотлаштириш ва ахборот-коммуникацион технологияларни ривожлантириш” устувор йўналишлари доирасига киради.

**Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи<sup>2</sup>.**

Жаҳон миқёсидаги илмий тадқиқотлар доирасида таркибий фототранзисторларни яратишга қаратилган етакчи илмий марказлари ва олий таълим муассасаларида, шу жумладан: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Massachusetts Institute of Technology, The American Institute of Physics, Cambridge University (АҚШ), Physics and Materials Research (Франция), Technical University Munich, Technical University Darmstadt (Германия), The University of Tokyo, Tokyo Institute of Technology (Япония), Seoul National University (Жанубий Корея), Алоқа марказий илмий-тадқиқот институти ва унинг филиаллари, Соҳалараро илмий-ахборот маркази, Москва алоқа ва информатика техника университети, Радио илмий-текшириш институти ва унинг филиаллари (Москва, Россия), А.Ф. Иоффе номидаги Физика-техника институти (Санкт-Петербург, Россия), ЎзР ФА “Физика-Қуёш” ИИЧБ Физика-техника институти, Тошкент ахборот технологиялари университети, Тошкент давлат техника университетиди (Ўзбекистон) кенг камровда изланишлар олиб борилмоқда.

Ҳозирги кунда фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар асосида ишлайдиган радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларни яратиш юзасидан бир қатор тадқиқотлар олиб борилмоқда. Жумладан, кўп қатламли яримўтказгичли тузилмаларда фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар орасидаги аниқланган боғлиқлик асосида фотоэлектрик элементларнинг турли технологиялари ишлаб чиқилган, хусусан, мис-индий-галлий селениди

<sup>2</sup> Диссертация мавзуси бўйича хорижий илмий-тадқиқотлар шарҳи: K. Nakajima, N. Usami, Sze S.M. Fundamentals of Semiconductor Fabrication. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004. 305 p., Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев. ФТП, 2004, том 38, вып. 8, С. 937-948., Rumyantsev V.D. Concentrator Photovoltaic. SSOS, 2007. P. 130-151., Muller M, Deline C., Marion B., Kurtz S., Bosco N. AIP Conf. Proc., 2011. P. 331., Zh. I. Alferov, “The semiconductor revolution of the 20th century”, Russian Chem. Reviews, 82:7 (2013). P. 587–596 ва бошқа манбалар асосида ишлаб чиқилган .

ва катта ҳажмда ишлаб чиқариш билан мувофиқлашган кадмий теллуриди (University of Florida, State University of New York, Heriot-Watt University, Edinburgh UK), таркибида субстрат бўлган фотоэлектрик элементларнинг юпка пардали катаклари: асосдаги дастлабки диэлектрик парда; биринчи диэлектрик қатламдаги фаол қатлам, тушаётган тўлқин узунлигининг биринчи диапазонидаги нурни боғлаш учун плазмоник (Санкт-Петербург политехника институт, Россия), тинч ҳолат токи автоматик ростланадиган қувват кучайтиргичларининг янги тури таклиф этилган (Тошкент ахборот технологиялари университети), оптик нур қабул қилгичларни яратишда ишлатиладиган аномал фотокучланишга эга бўлган яримўтказгичли пардаларнинг фотоэлектр хоссалари тадқиқ этилган (Сибирь давлат геодезия академияси), қуёш элементлари самарадорлигини ошириш учун юқори энергетик фотонларни термолизациясига асосланган қуёш фотоўзгартиргичларида киритмалли фото-вольтаик эффектни қўллаш ва қувват йўқолишини камайтириш (ЎзР ФА “Физика-Қуёш” ИИЧБ Физика-техника институти томонидан) таклиф этилган.

Рақамли катта интеграл схемаларни яратиш кичик кучланишли мантиқий элементларини ишлаб чиқиш истиқболли илмий тадқиқотлар йўналишларидан бири ҳисобланади.

**Муаммонинг ўрганилганлик даражаси.** Жаҳонда концентраторли қуёш элементларида фото-вольтаик эффектлар, икки ўлчамли электрон газларга эга бўлган майдоний ҳамда электронлар ҳаракатчанлиги юқори бўлган тузилмалли транзисторлар К. Nakajima, N. Usami, T. Mimura (Япония), D. Delagebeaudeuf, P. Deleseluse (Франция) ва бошқа олимлар томонидан тадқиқ этилган.

Россиялик олимлар Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев ва бошқалар томонидан нурланишларнинг моддалар билан таъсири ва яримўтказгичларнинг оптик хоссаларини тажрибада тадқиқ этиш усуллари таклиф қилинган бўлиб, гетероўтишлар асосидаги концентраторли қуёш элементлари, инъекцион яримўтказгичлар, кичик бўсағавий токка эга бўлган лазерлар борасида ишлар олиб борилмоқда. М. Ламперт, П. Марк, А.Н. Зюганов, С.В. Свечникова, В.И. Стрих, К.В. Шалимова каби олимлар томонидан инъекция-контакт ходисалар: яримўтказгичларда заряд ташувчиларнинг монокутбли ва иккиланган инъекцияси, шу билан бирга металл-яримўтказгич контакти, р-п ўтиш ва гетероўтишларнинг физик асослари ўрганилган.

Мамлакатимизнинг М.С. Саидов, А.С. Саидов, М.К. Бахадирханов, А.Ю. Лейдерман, М.Х. Ашуров каби олимлари томонидан галлий арсениди асосида тадқиқотлар олиб борилган ва унинг негизида турли тузилмалли фотодиодлар ҳосил қилиш устида илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Х.К. Арипов, Х.Х. Бўстонов, Е.В. Обьедков, Ж.Т. Максудов, И.Р. Фазилжанов, А.А. Ярмухамедов ва Ф.Р. Насирходжаев ишларида биполяр транзисторли ва тиристорли тузилмаларда инъекция-вольтаик эффект назарий асосланган ва тажрибада исботланган.

Аммо, фото-вольтаик ва инъекция-вольтаик эффектларнинг ўзаро боғлиқлиги ва ўзаро таъсири инобатга олинган радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларнинг тузилиш тамойиллари ва усуллари амалда етарли ўрганилмаган.

**Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги.** Диссертация тадқиқоти Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялар ва коммуникацияларни ривожлантириш вазирлигининг устувор илмий-техник йўналишлари режасига асосан Тошкент ахборот технологиялари университети илмий тадқиқот ишлари режасининг қуйидаги илмий-тадқиқот ишлари доирасида бажарилган: №4-05 “Инъекция-вольтаик эффектлар асосида негиз рақамли схемаларни ишлаб чиқиш ва тадқиқ этиш” (2005-2007); №1-06 “Инъекция-вольтаик транзисторлар асосида катта қувватли кучайтиргичларни ишлаб чиқиш” (2006-2008); №1-07 “Термофото-вольтаик конверсияни қўллаган ҳолда юқори самарадорликка эга куёш энергия ўзгартиргичи модулини тадқиқ этиш” (2007-2009); №ИДА-6 “Инъекция-вольтаик ва фото-вольтаик эффектлар асосида телекоммуникация қурилмаларининг аналог ва рақамли схемаларининг негиз элементларини яратиш” (2007-2009); №Ф-249-08 “Кўп звеноли каскодли инъекция-вольтаик транзисторлар асосида яримўтказгичли куч электроникаси элементларини ишлаб чиқиш” (2008-2010); № 3-11 “Оптоэлектрон ахборот ўзгартиргичлар” (2012-2014) ва БВ Ф3-004 “Кўпқатламли гетеротузилмаларда фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар” (2017-2020).

**Тадқиқот мақсади** фото- ва инъекция-вольтаик эффектларни қўллашга асосланган радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларнинг тузилиш тамойиллари ва тадқиқот усуллари ишлаб чиқишдан иборат.

**Тадқиқотнинг вазифалари:**

фото-вольтаик эффект ва инъекция-вольтаик эффектларнинг ўзаро боғлиқлиги асосидаги радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларни яратиш тамойилларини ишлаб чиқиш;

радиотехник қурилмаларнинг иш ҳолатларини турғунлашнинг фото-вольтаик, инъекция-вольтаик ҳамда комбинацион (фото- ва инъекция-вольтаик) усуллари ишлаб чиқиш;

инъекция-вольтаик режимда ишловчи, фойдали иш коэффициенти юқори бўлган, ягона тузилмага эга бошқарилувчи ток ва кучланиш генераторини тузиш тамойилларини ишлаб чиқиш;

инъекция-вольтаик эффект асосида ишловчи мослашувчан электрон қайта уланувчи ячейкаларни ҳамда улар негизида мантиқий элементларни яратиш усуллари ишлаб чиқиш;

гомоўтишли ва гетероўтишли таркибий транзисторлар, кўп каскадли гомоўтишли ва гетероўтишли таркибий транзисторлар, кўп бўғинли каскодли таркибий транзисторларни ишлаб чиқиш;



гомоўтишли, гетероўтишли ва каскодли радиотехник элементлар негизида кучайтиргичли фотоўзгартиргичларни яратишнинг комбинацион усулини ишлаб чиқиш.

**Тадқиқотнинг объекти** электрон қайта уланувчи ячейкалар, бошқарилувчи ток ва кучланиш генераторлари, таркибий гетероўтишли ва гомоўтишли транзисторлар, кучайтиргичли фотоўзгартиргичлардан иборат.

**Тадқиқотнинг предмети** радиотехник қурилмаларнинг ишлаш тамойиллари, тадқиқот усуллари, алгоритмлари ва математик моделлардан иборат.

**Тадқиқотнинг усуллари.** Тадқиқотлар жараёнида чизикли ва ночизикли электр занжирлар, кўп параметрли биполяр транзисторда бажарилган ночизикли электрон схемаларни моделлаштириш, ночизикли тенгламаларни сонли ечиш усуллари, вольт-ампер ва юклама таснифларини тадқиқ этиш усулларидан фойдаланилган.

**Тадқиқотларнинг илмий янгилиги** қуйидагилардан иборат:

фото- ва инжекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларни яратишнинг схемотехник ортиқчалик, эгизаклик, тескари алоқа, дуаллик тамойиллари ишлаб чиқилган;

радиотехник қурилмаларнинг ишчи ҳолатларини барқарорлашнинг фото-вольтаик, инжекция-вольтаик ҳамда комбинацион (фото- ва инжекция-вольтаик) усуллари ишлаб чиқилган;

инжекция-вольтаик режимда ишловчи, фойдали иш коэффициенти юқори бўлган, ягона тузилмага эга ток ва кучланиш генератори ишлаб чиқилган;

контакт потенциаллар фарқи  $0,7$  В га тенг миқдордаги ишчи кучланишда ишловчи, комплиментар биполяр транзисторларда бажарилган инвертор асосида мантиқий элементлар тайёрлаш усули исботланган;

комплиментар биполяр транзисторларда бажарилган инвертор параметрларининг ҳароратга турғунлиги ва симметрик узатиш таснифга эга эканлиги билан ажралиб туриши исботланган;

кўп бўғинли гомоўтишли, гетероўтишли таркибий ва каскодли транзисторларда коллектор токининг ўз-ўзини барқарорлаш усули асосланган;

гомоўтишли ва каскодли кучайтиргичли фотоўзгартиргичлар спектрал сезгирлик ва кучайтириш коэффициенти бўйича тузиш имконияти билан фарқ қилиши ҳамда юкламага узатилаётган қувват, коллектор-эмиттер кучланиши, ҳарорат бўйича кенг ишлаш диапазониغا эга бўлиши исботланган;

фото- ва инжекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишловчи қувват кучайтирувчи фотоўзгартиргичнинг тинч ҳолатдаги токини барқарорлаш ва қўшимча сошлаш талаб этилмаслик асоси ишлаб чиқилган.

**Тадқиқотларнинг амалий натижалари** қуйидагилардан иборат:

фото- ва инъекция-вольтаик режимда ишлайдиган юқори ҳароратларга бардошли бошқарилувчи ток ва кучланиш генераторлари ишлаб чиқилган;

ишчи кучланиш 0,7 В гача пасайган кичик қийматларда қайта уланувчи кучланиш сатҳларида ишлашга мослашган рақамли схемаларни яратишга имкон берувчи комплиментар биполяр транзистор ишлаб чиқаришда қўлланилган;

юқори ҳарорат ва кучланиш манбаи ўзгарувчи шароитларда, алоҳида олинган биполяр транзисторга нисбатан каррали катта тешилиш кучланишларда ишлайдиган гомоўтишли ва гетероўтишли таркибий транзисторлар амалий қўлланилган;

юқори сезгирлик ва юқори максимал сочилиш қувватига эга гомоўтишли, гетероўтишли, каскодли кучайтирувчи фотоўзгартиргичлар ишлаб чиқилган.

**Тадқиқот натижаларининг ишончилиги** яримўтказгичли асбобларни параметр ва таснифларни назорат қилишнинг замонавий илмий ва технологик, стандарт ва синовдан ўтган усуллари билан солиштириш амалда тасдиқланган.

**Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти.** Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишлайдиган радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларининг тузилиш тамойиллари ва усуллари бўйича янгиликлар ва билимлар доирасини кенгайтиради.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундаки, таклиф этилган тадқиқот усуллари яримўтказгичли ва оптоэлектрон асбобларнинг янги туркумини ишлаб чиқишда қўлланилади.

**Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши.** Фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишловчи радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларининг тузилиш тамойиллари ва усуллари ишлаб чиқиш асосида:

ишчи кучланишлар ва ҳарорат ўзгаришларида барқарор ишлаши билан фарқланувчи комплиментар биполяр транзисторларда бажарилган инвертор “Ўзэлтехсаноат” ассоциациясининг “Фотон” АЖда жорий этилган (“Ўзэлтехсаноат” ассоциациясининг 2019 йил 31 майдаги 04-4/615-сон маълумотномаси). Илмий натижаларни қўллаш электрон саноат технологияларини ривожлантириш ва модернизация қилиш имконини берган;

ишчи кучланиш 0,7 В гача пасайган кичик қийматларда ишлайдиган комплиментар биполяр транзисторлар асосидаги инвертор электроника, микроэлектроника ва рақамли техника лаборатория комплекслари элемент базаси “Санк-Петербург давлат телекоммуникациялар университети қошидаги ўқув-услубий марказ” МЧЖда ҳамда телекоммуникациянинг радиотехник ва оптоэлектрон қурилмалари элемент базаси “Broadband Solution” МЧЖга жорий этилган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларни ривожлантириш вазирлигининг 2019

йил 1 ноябрдаги 33-8/7784-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаларини қўллаш ишчи кучланишни 0,7 В гача камайтириш, радиотехник ва телекоммуникация қурилмаларининг импорти ўрнини босувчи қурилмалар яратиш имконини берган;

схемотехник ортикчалик, эгизаклик тамойиллари ва инъекция-вольтаик усул асосида ишлатиш жараёнида ишончлилик ва параметрлар барқарорлигини ошириш имконини берувчи кўп бўғинли гомоўтишли, гетероўтишли ва каскодли таркибий транзисторлар “Smart vision” МЧЖ Қўшма корхонасида жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларни ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 1 ноябрдаги 33-8/7784-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаларини қўллаш коллектор токи ўз-ўзини турғунлашни таъминлаган;

схемотехник ортикчалик, эгизаклик тамойиллари ва комбинацион (фото- ва инъекция-вольтаик) усул асосида ишлатиш жараёнида ишончлилик ва параметрлар барқарорлигини ошириш имконини берувчи кувват кучайтирувчи фотоўзгартиргичлар “Smart vision” МЧЖ Қўшма корхонасида жорий қилинган (Ўзбекистон Республикаси Ахборот технологиялари ва коммуникацияларни ривожлантириш вазирлигининг 2019 йил 1 ноябрдаги 33-8/7784-сон маълумотномаси). Илмий тадқиқот натижаларини қўллаш қурилманинг тинч ҳолатдаги токни турғунлаш ва кўшимча созлашларсиз ишлатиш имконини берган.

**Тадқиқот натижаларининг апробацияси.** Тадқиқотнинг назарий ва амалий натижалари 14 та илмий-амалий анжуманларда, жумладан 10 та халқаро ва 4 та республика илмий-амалий анжуманларида маъруза қилинган ва муҳокамадан ўтказилган.

**Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги.** Тадқиқот мавзуси бўйича жами 36 та илмий иш чоп этилган бўлиб, жумладан Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг докторлик диссертациялари асосий натижаларини чоп этишга тавсия этилган илмий нашларда 18 та илмий мақола, шундан: халқаро журналларда 6 та ва республика журналларида 12 та илмий иш нашр қилинган, ЭҲМ учун дастурларни расмийлаштириш бўйича 4 та гувоҳнома олинган.

**Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми.** Диссертация кириш, бешта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати, иловалардан иборат. Диссертациянинг асосий қисми 176 бетни ташкил этади.

## ДИССЕРТАЦИЯ ИШИНING АСОСИЙ МАВЗУСИ

**Кириш** қисмида диссертация иши мавзусининг долзарблиги ва зарурлиги асослаб берилган, тадқиқотнинг мақсад ва вазифалари, объекти ва предмети белгилаб берилган, тадқиқотнинг Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги аниқланган, тадқиқотнинг илмий янгилиги ва амалий натижалари, олинган натижаларнинг назарий ва амалий аҳамияти очиқ берилган, тадқиқот натижаларини амалиётга жорий этиш рўйхати, тадқиқот натижаларининг

апробацияси, нашр этилган ишлар ва диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Биринчи боб **“Радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларнинг ҳозирги ҳолати, муаммолари ва инновацион ривожланиш истиқболлари”**да радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларнинг ҳозирги ҳолатининг таҳлили келтирилган, кўп қатламли яримўтказгичли асбобларнинг қўллашдаги муаммолар аниқланган, инновацион ривожлантириш истиқболлари таҳлил қилинган. Радиотехник қурилмаларда қўлланиладиган каскадлар ва звеноларнинг бажарадиган вазифасидан қатъий назар синфланиши ҳамда ўзига хос пирамида кўринишидаги иерархик тузилиши кўриб чиқилган. Транзисторларнинг таснифларидаги нобарқарорлик ва тешилиш сабаблари ўрганилган. Гетероўтишли ва гомоўтишли фотоқабулқилгичлар таҳлил қилинган ва уларни тайёрлаш технологиясига қўйиладиган талаблар ўрганилган. Қуёш элементларида фото-вольтаик эффект юзага келиш механизми баён этилган. Биполяр транзисторларда кузатиладиган инжекция-вольтаик эффект, яъни транзисторли тузилмаларда тўғри силжитилган р–п ўтишдан заряд ташувчиларнинг инжекцияси натижасида генерация кузатилиши назарий асосланган ва тажрибада аниқланган. Замонавий радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларнинг келтирилган таҳлилидан тадқиқот вазифалари шакллантирилган.

Бажарилган ишлар натижаларидан қуйидагилар аниқланган:

- биполяр транзисторлар асосидаги схемотехник ечимлар бир қатор, ҳали ўзининг аниқ муҳандислик ечимларини топмаган муҳим камчиликларга эга бўлиб, инжекция-вольтаик режимда ишлайдиган биполяр транзисторлар асосида кичик кучланишли рақамли схемаларнинг негиз элементларини синтез ва тадқиқ этиш масалалари эса очик ҳисобланади.

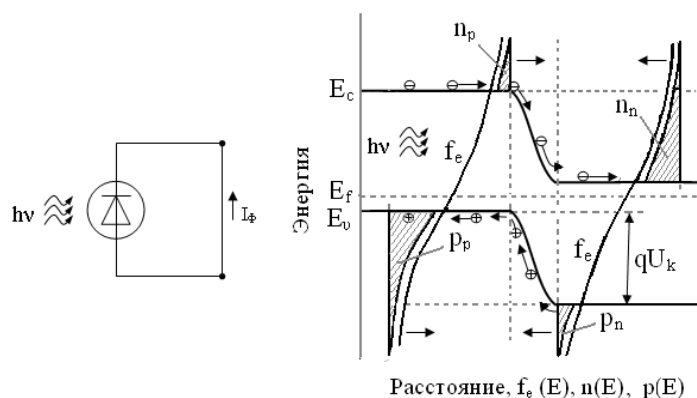
- мазкур бобда кўриб чиқилган оптик нурланиш фотоқабулқилгичлари бир қатор камчиликларга эга: кичик квант чиқиши, иккиламчи тешилиш кучланишининг кичик қиймати ва юқори хароратларда нобарқарор ишлаши, оптоэлектрон схемаларнинг техник параметрлари мувофиқлигини таъминлаш муаммоси мавжуд.

Юзага келган ҳолат янги физик хоссалар асосида аналог ва рақамли радиотехник қурилмаларнинг негиз элементларини синтез қилиш муаммосига янгича ёндашувларни ривожлантиришни талаб этади. Шундан келиб чиққан ҳолда, жумладан, фото-вольтаик ва инжекция-вольтаик эффектларни биргаликда қўллашга асосланган янги катта токли ва кичик кучланишли элементлар базасини яратиш муваффақиятли ҳисобланади. Кўриб ўтилган ҳолатлар фото-вольтаик ва инжекция-вольтаик эффектларни қўллаш асосида ишлайдиган радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларни тузишни янги тамойиллари ва усулларини ишлаб чиқиш зарурлигини кўрсатади. Адабиётлардаги мавжуд маълумотлар асосида вазифалар қўйилиши шакллантирилган.

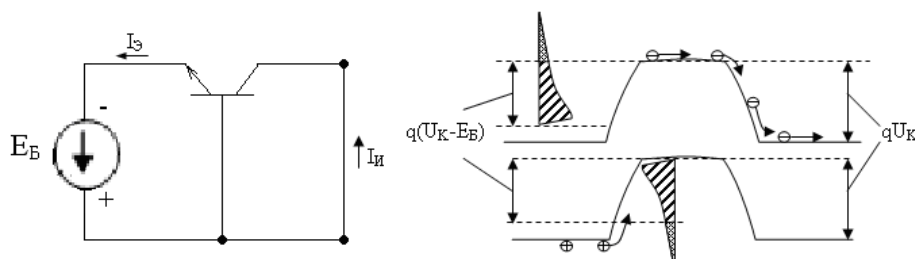
Диссертациянинг иккинчи боби “**Фото- ва инжекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишлайдиган бошқарилувчи ток ва кучланиш генераторларини тадқиқ этиш**” қуёш элементларидаги фото-вольтаик эффектнинг диод, биполяр транзисторлар ва тиристорли тузилмалардаги инжекция-вольтаик эффект билан ўхшашлигини тадқиқ этишга бағишланган. Эмиттер ўтишидаги инжекция жараёни инжекция-вольтаик электр юритувчи кучнинг генерация қилишини ҳисобга олган ҳолда р-п ўтишларнинг нозизиқлилиқ хоссалари асосида модель тасаввурларини ривожлантириш, биполяр транзисторлар ва улар асосидаги қурилмаларни қўллашни батафсил илмий асослаш имкониятлари кўрсатилган.

Қуёш элементи ҳамда биполяр транзисторнинг  $R_{Ю}=0$  бўлган ҳолат учун зона диаграммалари мос равишда 1-расмда келтирилган бўлиб, бунда ўтказгичдан қисқа туташув токи оқиб ўтади (1, а ва б-расм).

а)



б)



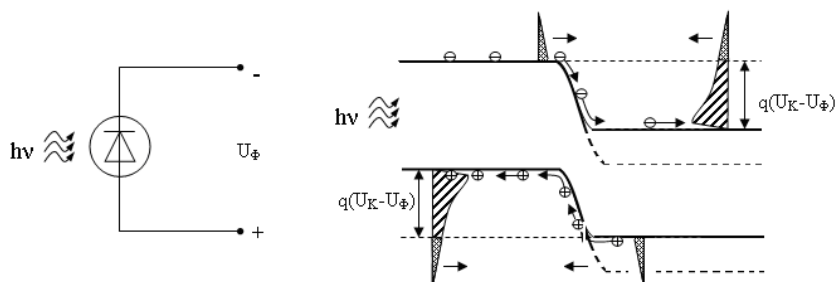
**1-расм. Қисқа туташув ҳолатида қуёш элементи (а) ва биполяр транзисторни (б) уланиш схемалари ва энергетик зона диаграммалари**

Агар қуёш элементи ва биполяр транзисторли занжир узилган бўлса ( $R_{Ю} = \infty$ ), у ҳолда ўтказгичда мос равишда  $U_{\Phi}$  ва  $U_{ИВ}$  кийматлари тенг бўлган салт юриш кучланиши  $U_{СЮ}$  юзага келади (2, а ва б-расм).

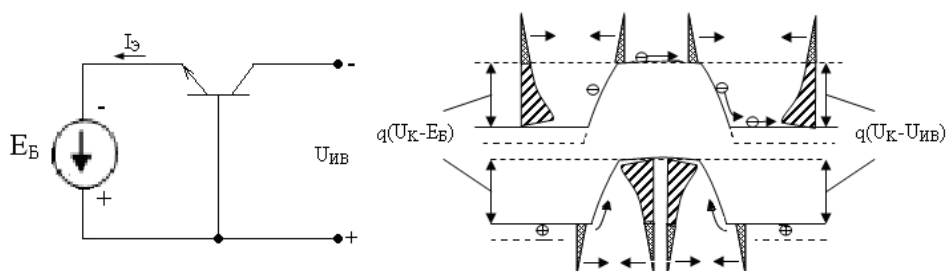
Фото-вольтаик режимдаги қуёш элементи ҳамда инжекция-вольтаик режимдаги биполяр транзисторнинг  $R_{Ю}$  юкламага уланган ҳолат учун зона диаграммалари 3-расмда келтирилган.

Биполяр транзистор учун инжекция-вольтаик кучланиш ва қуёш элементи учун фото-вольтаик кучланиш қийматлари, ҳамда инжекция токи ва фототок қийматлари юклама ( $R_{Ю}$ ) қийматиға боғлиқ.

а)

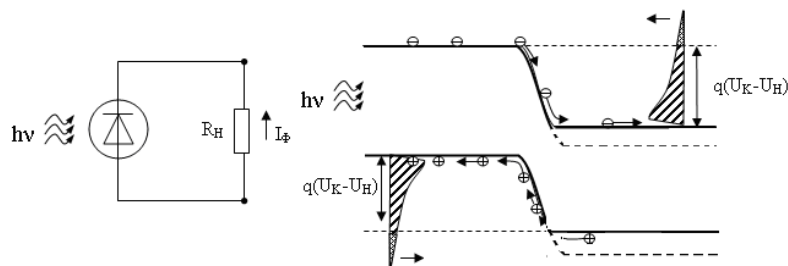


б)

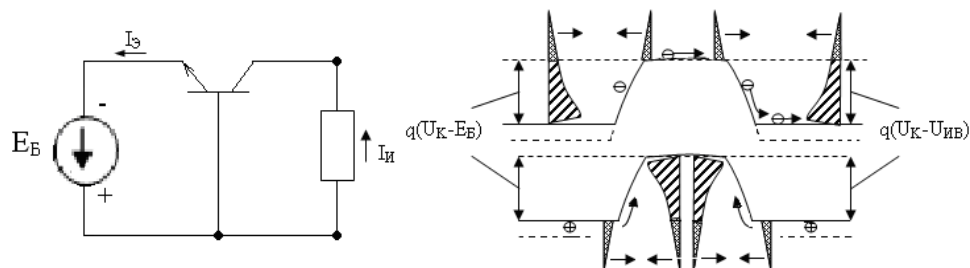


**2-рasm. Салт юриш ҳолатида қуёш элементи (а) ва биполяр транзисторни (б) уланиш схемалари ва энергетик зона диаграммалари**

а)



б)

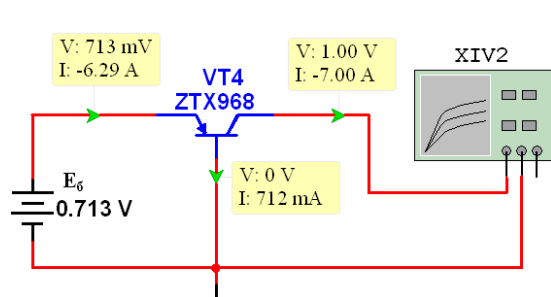


**3-рasm.  $R_{Ю}$  юклама уланган ҳолатда қуёш элементи (а) ва биполяр транзисторни (б) уланиш схемалари ва энергетик зона диаграммалари**

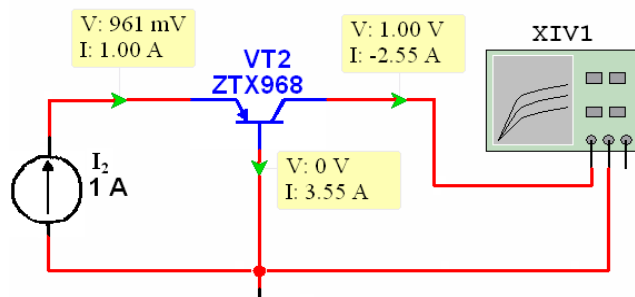
Демак, юклама қаршилиги қийматини нольдан чексизликкача бўлган ораликда ўзгартириб, тажрибада фото-вольтаик ва инжекция-вольтаик режимдаги юклама таснифларини олиш мумкин.

$R_{Ю}=0$  бўлганда қуёш элементи учун юклама кучланиши  $U_{Ю}=0$  ва  $I_{Ю}=I_{Ф}$  бўлади.  $R_{Ю}$  қиймати  $R_{КРИТ}$  қийматгача ортса қуёш элементи токи деярли ўзгаришсиз қолади, бу эса ток генератори ҳолатига мос келади, қуёш элементидаги тўғри кучланиш эса ортиб боради. Юклама қиймати етарлича катта бўлганда ( $R_{Ю} = \infty$ ) юклама токи нольга тенг бўлади, бу эса кучланиш генератори ҳолатига мос келади. Бу вақтда салт юриш кучланиши қиймати  $U_{СЮ} = U_{ФВ.ЭДС}$  бўлади.

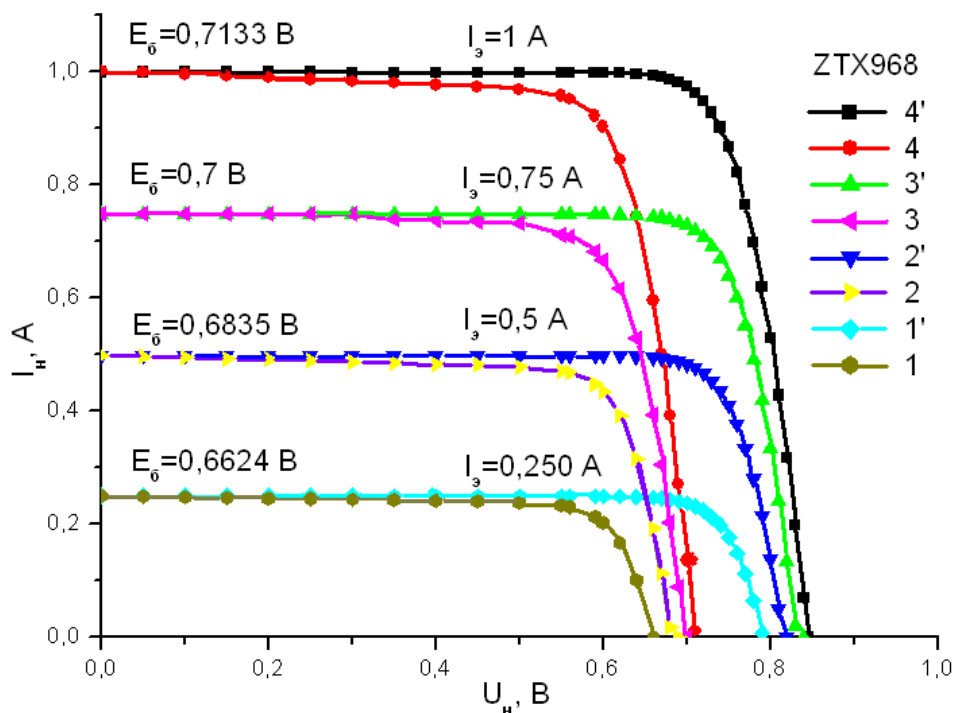
а)



б)



**4-расм. Бошқарилувчи ток генератори схемалари:  $E_B$  кучланиши орқали (а),  $I_3$  токи орқали (б) бошқарилади**

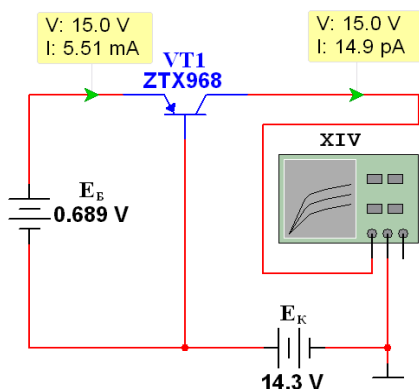


**5-расм. Инжекция-вольтаик режимда ишлайдиган ZTX968 русумли p-n-p турли биполяр транзисторни юклама ВАТлари: бошқарув  $E_B$  (1-4 эгри чизиклар) (а) ва  $I_3$  (1'-4' эгри чизиклар) (б) бўлган ҳолатлар учун**

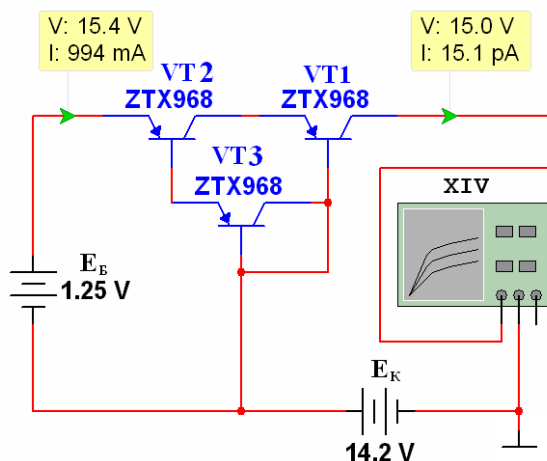
Ишчи ҳароратларни ортиши ва катта чиқиш токига эга манбалар нобарқарорлигига турғун бўлган бошқарилувчи ток генераторларини яратиш учун инъекция-вольтаик режимда ишлайдиган биполяр транзисторлар таклиф этилган (4-расм). Инъекция-вольтаик режимдаги биполяр транзисторни тадқиқ этиш National Instruments компаниясининг Multisim 10.1 дастури ёрдамида амалга оширилган.

Биполяр транзистор таснифларининг горизонтал қисми юқори динамик қаршилиқка эга (5-расм), шу сабабли у кичик ички қаршилиқка эга ташқи занжирлар учун ток генератори сифатида қаралиши мумкин.

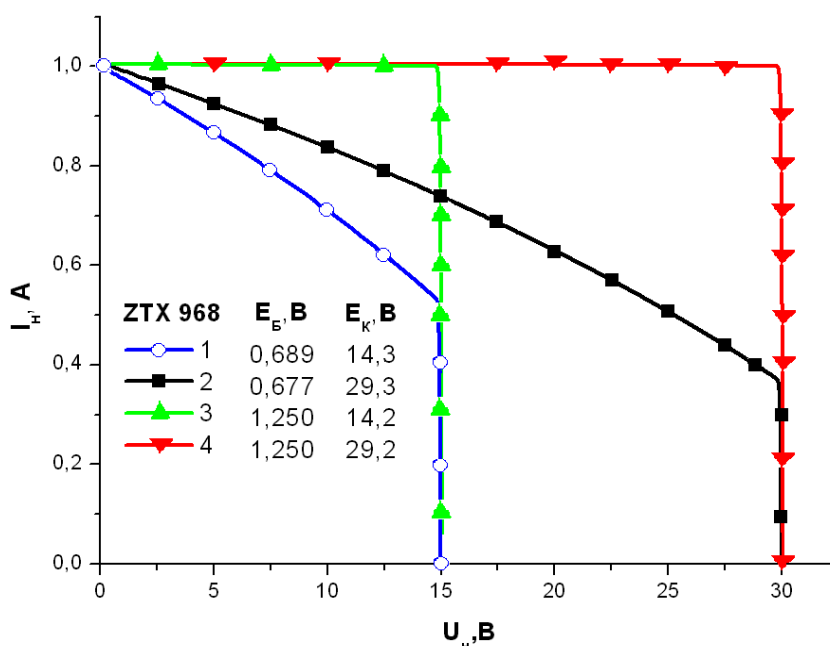
а)



б)



**6-расм. Биполяр транзисторда (а) ва уч тузилмали гомотаркибий транзисторда (б) бажарилган бошқарилувчи кучланиш генератори схемаси**



**7-расм. ZTX968 русумли р-п-р турли биполяр транзисторни  $E_K$  кучланиш орқали бошқарилишдаги юклама ВАТлари**

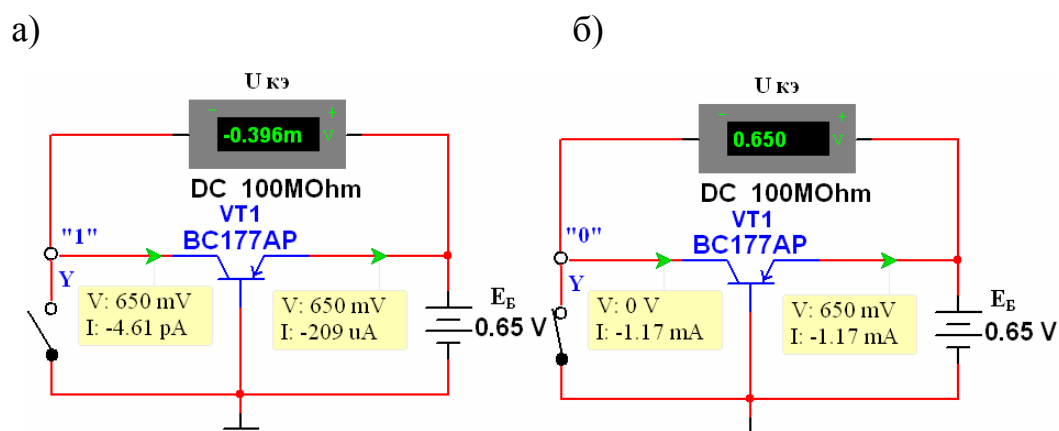


Шу билан бирга инъекция-вольтаик режимда ишлайдиган биполяр транзистор бошқарилувчи кучланиш генератори вазифасини бажаради (6-расм), чунки биполяр транзистор таснифининг вертикал қисмида у кичик динамик қаршиликка эга (7-расм).

Қуёш элементидаги фото-вольтаик эффект ва кўп қатламли яримўтказгичли тузилмалардаги инъекция-вольтаик эффектларнинг ўхшашлигини тадқиқ этишда олинган натижалар электрониканинг аналог ва рақамли қурилмаларининг янги катта токли ва кичик кучланишли негиз элементларини яратишга имкон берган. Бошқарилувчи ток ва кучланиш генераторларини яратишда дуаллик тамойили қўлланилган, уларнинг ишчи ҳолатларини турғунлашда инъекция-вольтаик усулдан фойдаланилган.

Диссертациянинг учинчи боби “**Фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишлайдиган радиотехник элементларнинг тузилиш тамойиллари ва усуллари**”да дуаллик, эгизаклик тамойиллари ва инъекция-вольтаик усул асосида биполяр транзисторларда қўлланиладиган контакт потенциаллар фарқиға тенг кучланиш сатҳларида қайта уланадиган мослашган ҳолда ишлайдиган рақамли схемаларни тажрибада олинган натижалари келтирилган. Бундай масала замонавий рақамли техникада мавжуд бўлган мантиқий сатҳлар кучланишларининг электр қуввати истеъмолини (ва электр схемаларда иссиқлик кўринишида сочилишини) камайтириш мақсадида 1 В ва ундан кичик қийматларгача пасайтириш тенденцияси жиҳатидан долзарб ҳисобланади.

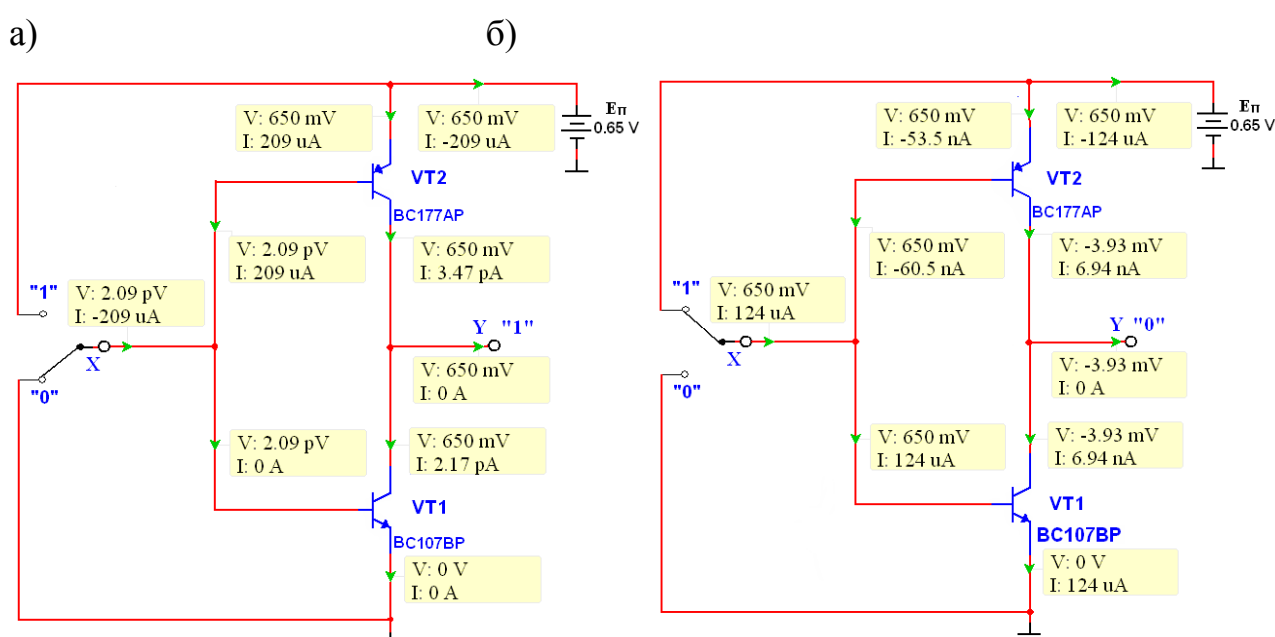
Умумий база уланиш схемасида бажарилган ва инъекция-вольтаик режимда ишлайдиган биполяр транзисторнинг иккита турли ҳолатини кўриб чиқиш асосида қуйидаги хулосаларга келинган (бунда  $E_B = 0,65$  В): калит узилган ҳолат – салт юриш ҳолати (8, а-расм) ва калит уланган ҳолат – қисқа туташув ҳолати (8, б-расм) бўлиб, биринчи ҳолатда чиқишдаги кучланиш паст сатҳ (мантиқий ноль  $U^0$ )га мос келади, иккинчи ҳолатда эса - юқори кучланиш сатҳи (мантиқий бир  $U^1$ )га га мос келади.



**8-расм. Биполяр транзисторнинг инъекция-вольтаик режими: салт юриш (а) ва қисқа туташув (б) ҳолатлари**

Кўриб ўтилган схемаларда калитни инжекция-вольтаик режимда ишлайдиган биполяр транзистор асосидаги электрон калитга алмаштириш мумкин.

p-n ўтишлардаги контакт потенциаллар фарқининг табиий чегараси билан чекланувчи кучланиш манбаида ишлайдиган схемотехник жиҳатдан янги рақамли интеграл микросхемаларнинг негиз ячейкаси ҳисобланадиган комплиментар биполяр транзисторда бажарилган инвертор таклиф этилган (9-расм). Комплиментар биполяр транзисторда бажарилган инверторнинг узатиш таснифини ҳисоблаш услуби ва ҳисоблаш дастури ишлаб чиқилган. Комплиментар биполяр транзистор асосидаги инвертор симметрик узатиш таснифга эга эканлиги аниқланган. Натижалар National Instruments компаниясининг Multisim 10.1 дастури асосида олинган.

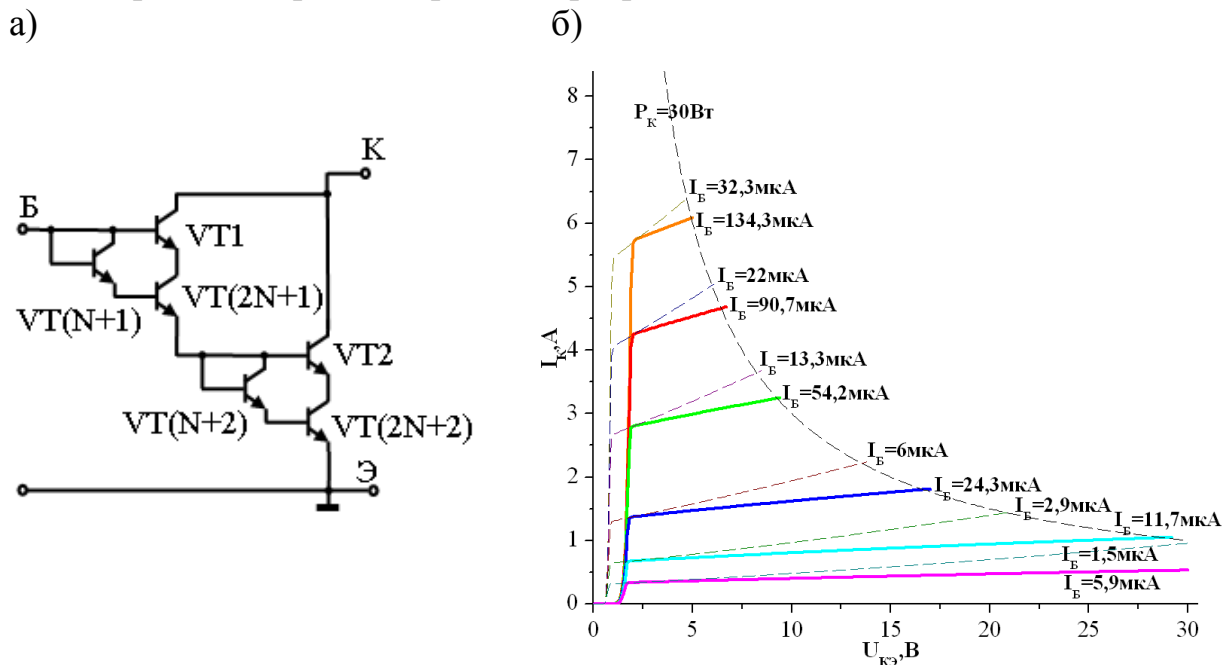


**9-расм. Инжекция-вольтаик режимда ишлайдиган биполяр транзисторда бажарилган инвертор киришига мантикий ноль (а) ва мантикий бир (б) берилган ҳолат**

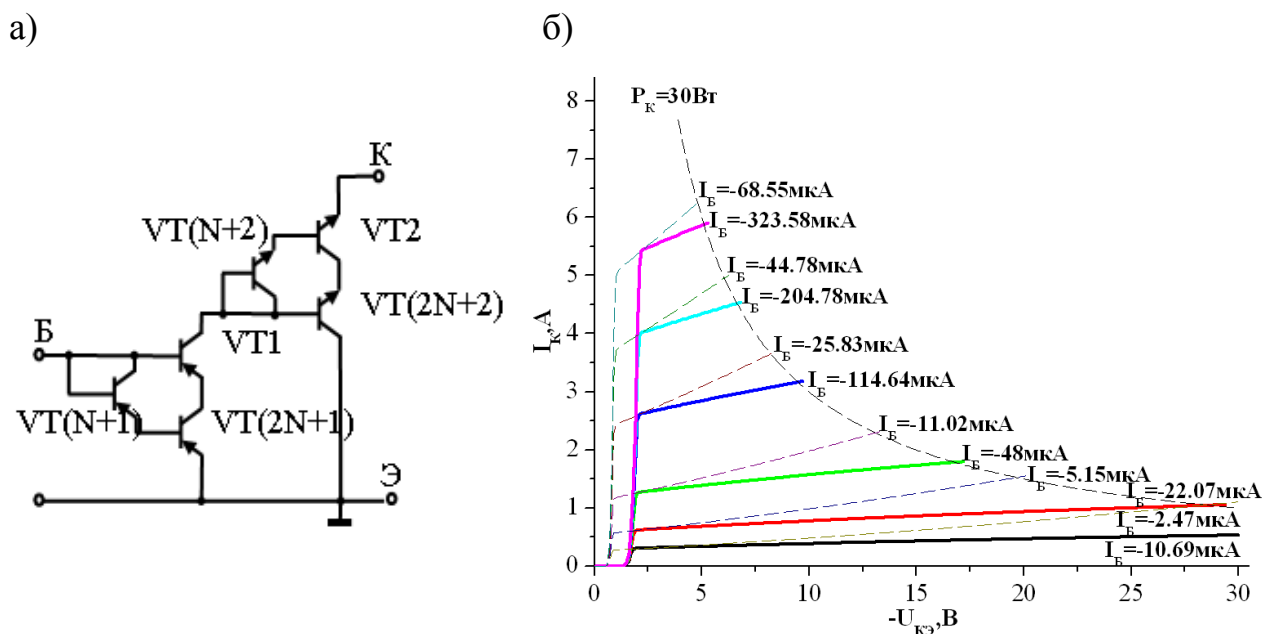
Комплиментар биполяр транзисторда бажарилган инвертор ихтиёрий миқдордаги кириш ва чиқишларга эга бўлган ЁКИ-ЭМАС ва ҲАМ-ЭМАС мантикий элементлар ва бошқа қурилмалар учун негиз ячейка эканлиги аниқланган, уларни яратишда дуаллик ҳамда эгизаклик тамойиллари таклиф этилган. Комплиментар биполяр транзисторда бажарилган инвертор ва ЁКИ-ЭМАС, ҲАМ-ЭМАС мантикий элементларини синтез қилишда инжекция-вольтаик усул қўлланилган.

Тўртинчи боб “**Фото- ва инжекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишлайдиган радиотехник тугунларнинг тузилиш тамойиллари ва усуллари**”да схемотехник ортиқчалик, эгизаклик тамойиллари ва инжекция-вольтаик усул асосида юқори харорат ва

кучланиш манбаи қийматлари нобарқарор бўлган шароитларда ишлайдиган гомоўтишли ва гетероўтишли таркибий транзисторлар ҳамда кўп бўғинли каскодли таркибий инжекция-вольтаик транзисторларни қўллаш имконияти тажрибада ўрганилган. Бунинг учун Дарлингтон жуфтлиги, Шиклаи жуфтлиги, транзисторларнинг каскод уланиш схемалари, ток кўзгузи схемалари каби таркибий транзисторлар танланган.



**10-расм. Дарлингтон схемасида йиғилган кўп каскодли гомоўтишли таркибий транзистор схемаси (а) ва унинг чиқиш таснифлари оиласи (б)**



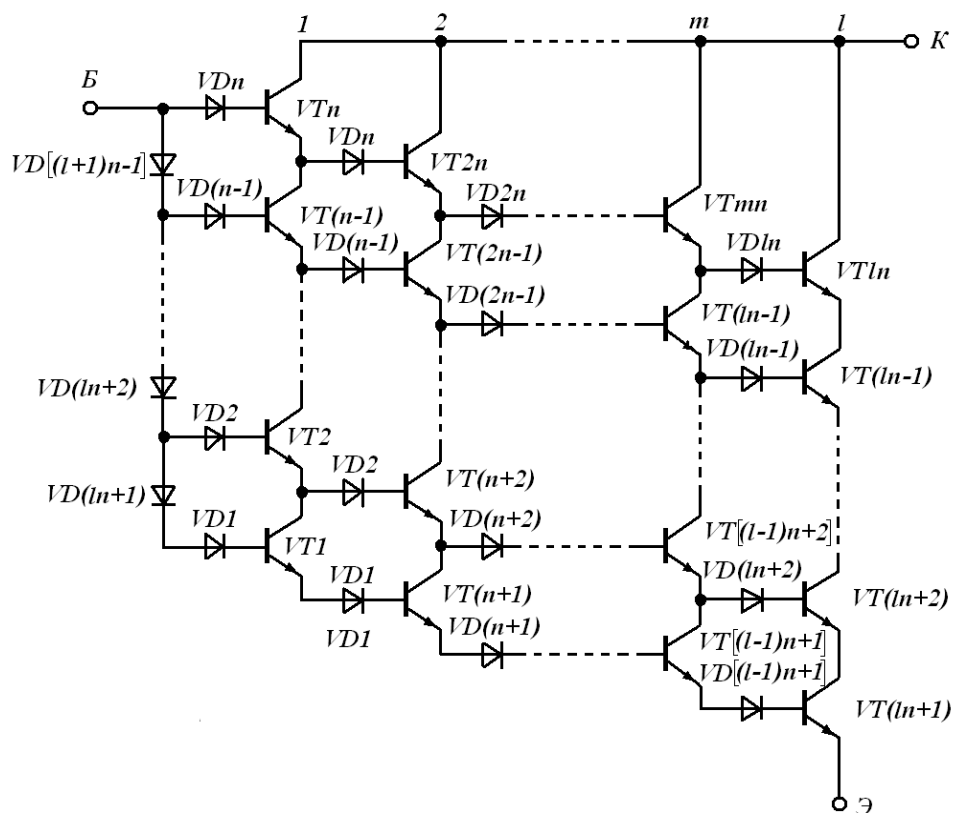
**11-расм. Шиклаи схемасида йиғилган кўп каскодли гомоўтишли таркибий транзистор схемаси (а) ва унинг чиқиш таснифлари оиласи (б)**

Таркибий транзисторларда ток бўйича кучайтириш коэффициентини ошириш мақсадида кўп каскадли гомоўтишли ва гетероўтишли транзисторлар тавсия этилган (10 ва 11-расмлар).

Гомоўтишли ва гетероўтишли таркибий транзисторлар вольт-ампер тасмнифларини тадқиқ этиш учун мулоқотли компьютерда моделлаш дастури ишлаб чиқилган.

Ўз-ўзидан кўзғалиш хавфини бартараф этиш ҳамда юқори харорат шароитлари ва кескин ўзгарувчи манба кучланишларида юқори ишончилиликни таъминлаш мақсадида каскадли схемаларни қўллаш таклиф этилган, хусусан, кучланиш бўлгич занжирига кетма-кет уланган транзисторлардан ташкил топган кўп бўғинли каскадли транзистор таклиф этилган.

Юқори кучланишли электр қуввати манбаини қайта улаш учун кўп бўғинли каскадли таркибий транзисторларни модуллилиги ва қўллаш имконияти чиқишдаги қувватни юклама токи ҳамда мос равишда кучланиш манбаи кучланишини оширишга имкон берган (12-расм).

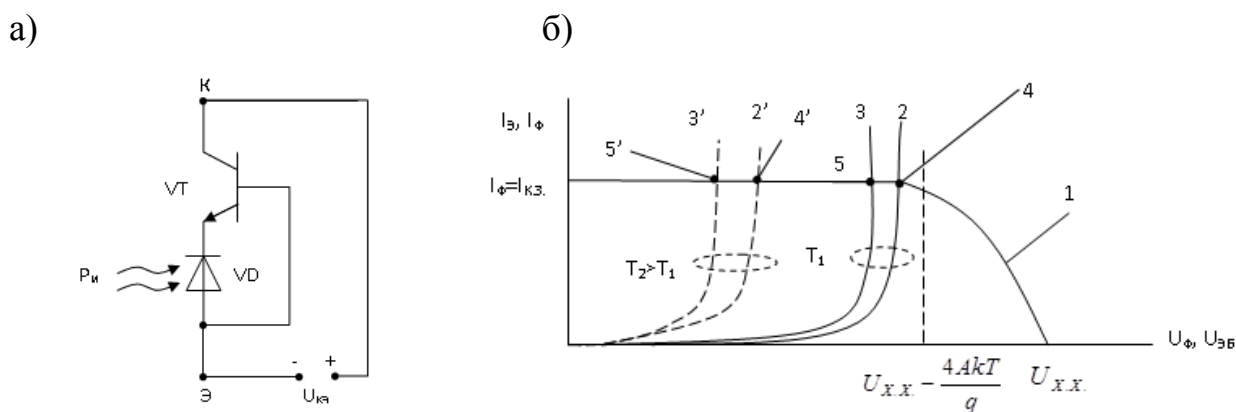


**12-расм. n- модулли юқори кучланишли кўп бўғинли каскадли таркибий транзистор**

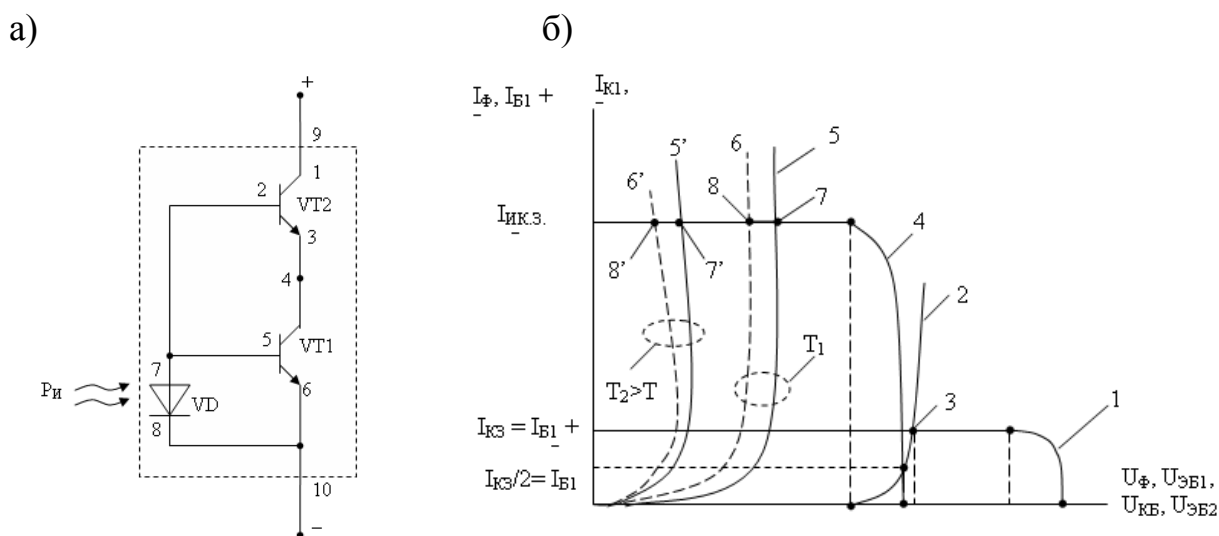
Ишлаб чиқилган гомоўтишли ва каскадли кучайтиргичли фотоўзгартиргичлар ( $E_g=1,12$  эВ бўлган кремний ( $\lambda=500\div 1100$  нм) ва  $E_g=1,43$  эВ бўлган галлий ( $\lambda=400\div 900$  нм)) учун оптимал спектрал сезгирликка эга эканлиги, ток бўйича кучайтириш коэффициенти икки тартибга ва кучланиш бўйича кучайтириш коэффициенти уч тартибга фарқ қилиши аниқланган.

Гомоўтишли, гетероўтишли ва каскодли таркибий транзисторларда схемотехник ортиқчалик тамойили таклиф этилган. Уларни тадқиқ этишда фото-вольтаик ҳамда инжекция-вольтаик усуллар қўлланилган.

Бешинчи боб “**Фото- ва инжекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишлайдиган радиотехник қурилмаларни тадқиқ этиш**”да схемотехник ортиқчалик, эгизаклик тамойиллари ва комбинацион (фото- ва инжекция-вольтаик) усул асосида фото- ва инжекция-вольтаик эффектларни дискрет биполяр транзисторли тузилмаларнинг барқарорлигини сезиларли яхшилашда қўллаш имконияти келтирилган. Фото- ва инжекция-вольтаик эффектларни биргаликда қўллаш ёрдамида юқори барқарорликка эга фотоқабулқилувчи тугунлар ишлаб чиқилган.

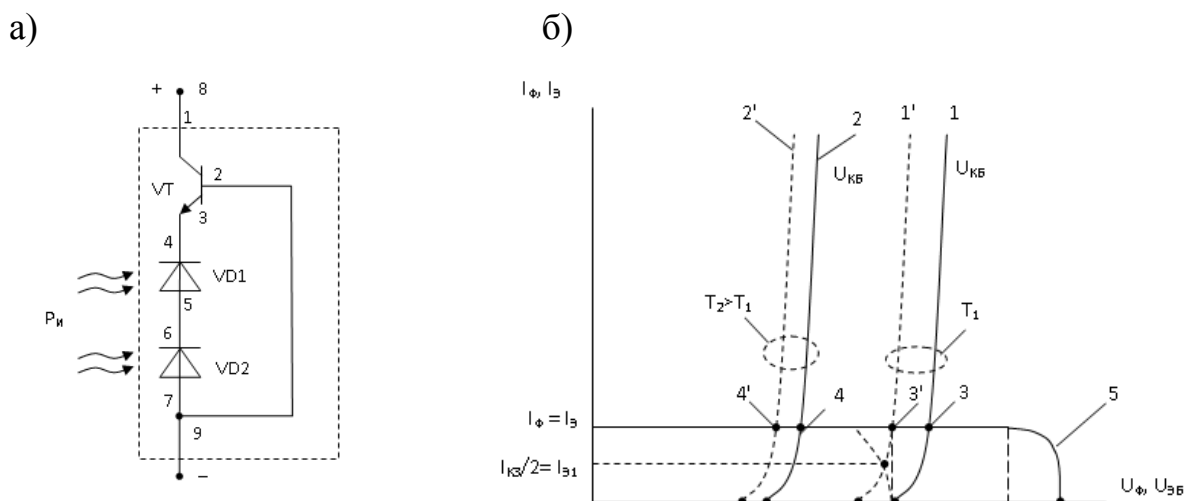


**13-расм. Фото қабул қилувчи тугун схемаси (а) ва унинг юклама ВАТи (б)**

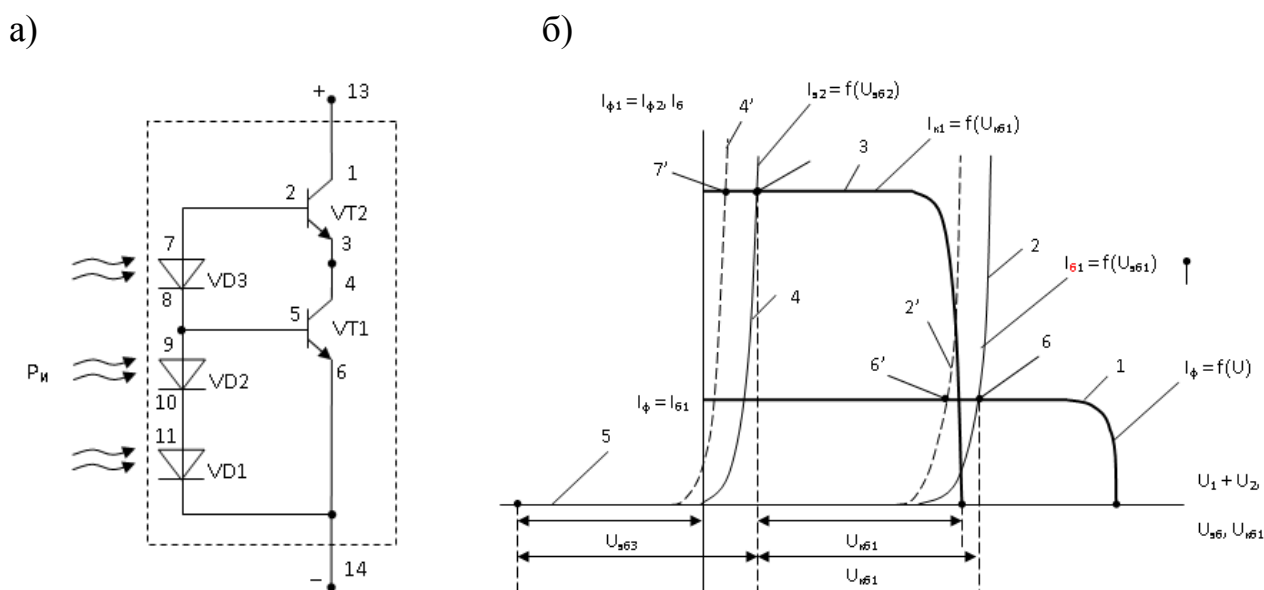


**14-расм. Гетероўтишли кучайтиргичли фотоўзгартиргич схемаси (а) ва унинг юклама ВАТи (б)**

Турли таъқиқланган зона кенгликларига эга бўлган дискрет тузилмалар- фотодиод ва биполяр транзистор асосида бажарилган, коллектор-эмиттер кучланишларининг чегаравий қийматлари ва ишчи ҳарорат диапазонини кенгайтириш имконини берадиган фотоқабулқилувчи тугун таклиф этилган (13-расм). Дискрет кенг зонали фотодиоднинг қўлланилиши спектрал сезгирлик катталиги ва характерини мустақил тарзда оптималлаш имконини берган бўлиб, камчилиги сифатида - кичик фотосезгирликни кўрсатиш мумкин.



15-расм. Гомоўтишли кучайтиргичли фотоўзгартиргич схемаси (а) ва унинг юклама ВАТи (б)



16-расм. Каскодли кучайтиргичли фотоўзгартиргич схемаси (а) ва унинг юклама ВАТи (б)

Мазкур камчиликни бартараф этиш мақсадида гетероўтишли (14-расм) ва гомоўтишли (15-расм) кучайтиргичли фотоўзгартиргичлар таклиф этилган. Улар спектрал сезгирлик дипазони ва кучайтириш коэффициенти бўйича оптималлаш имконига эга бўлиб, юкламага узатилаётган қувват, коллектор-эмиттер кучланиши ва ҳарорат бўйича кенг диапазонда турғун ишлайди.

Симсиз оптик тизимлар, масофадан бошқариш схемалар, оптик датчиклар, оптореле ва бошқа электрон қурилмаларда қўлланилиши мумкин бўлган каскодли кучайтиргичли фотоўзгартиргич таклиф этилган (16-расм).

Ишлаб чиқилган каскодли кучайтиргичли фотоўзгартиргич бир турдаги яримўтказгичли материалдан ясалган биполяр транзистор ва фото қабул қилгич қўлланилган ҳолда юқори фотосезгирликка ва максимал сочилувчи қувватга эга эканлиги кўрсатилган.

Уч тузилмали гомоўтишли таркибий транзисторлар асосида концентраторли фотоэлектр ускуналари двигателларини бошқариш учун содда, самарали ва кучли қизишга чидамли бўлган электрон блок таклиф этилган. Кучайтиргичли фотоўзгартиргичларни яратишда схемотехник ортиқчалик ва эгизаклик тамойиллари таклиф этилган. Қурилманинг ишчи режимларини барқарорлашда комбинацион (фото- ва инъекция-вольтаик) усул қўлланилган.

## ХУЛОСА

Фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишлайдиган радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларни тузилиш тамойиллари ва усулларини яратиш асосида қуйидаги хулосалар тақдим этилади:

1. Ишлаб чиқилган схемотехник ортиқчалик, эгизаклик, тескари алоқа, дуаллик тамойиллари ҳамда фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосидаги радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларни яратиш имконини берган.

2. Фото- ва инъекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосидаги радиотехник элементлар, тугунлар ва қурилмаларни яратиш учун фото-вольтаик, инъекция-вольтаик ҳамда комбинацион (фото- ва инъекция-вольтаик) усуллар ишлаб чиқилган бўлиб, натижада радиотехник қурилмаларнинг ишчи режимлари турғунлашган.

3. Инъекция-вольтаик режимда ишлайдиган, фойдали иш коэффициенти юқори бўлган, ягона тузилмага эга ток ва кучланиш генераторлари ишлаб чиқилган бўлиб, микросхемалар чиқишидаги токни ошириш ва юклама қобилиятини кенгайтириш имконини берган.

4. Комплиментар биполяр транзисторларда бажарилган, ишчи кучланиши 0,7 В гача пасайган кичик қийматларда ишлайдиган, параметрлари ҳароратга турғун ва симметрик узатиш таснифига эга инвертор ва мантиқий элементлар асосида таклиф этилган схемалар мобил радиоэлектрон қурилмалар қувват манбаининг ишлаш муддатини оширган.

5. Кўп бўғинли гетероўтишли, гомоўтишли таркибий ва каскодли транзисторлар оддий таркибий транзисторларга нисбатан кучланиш бўйича 7 маротабага ва ҳароратга нисбатан 3 тартибга барқарорликка эга эканлиги аниқланган бўлиб, улар асосида яратилган кучайтиргичлар мавжуд аналогларига нисбатан юқори самарадорликка эга эканлиги исботланган.

6. Гомоўтишли ва каскодли кучайтиргичли фотоўзгартиргичларнинг спектрал сезгирлик ва кучайтириш коэффициенти бўйича оптималлаштириш имконияти билан фарқ қилиши, юкламага узатилаётган қувват, коллектор-эмиттер кучланиши ва ҳарорат бўйича ишлаш диапазонининг кенглиги уларнинг мавжуд аналогларидан устунликка эга эканлиги исботланган.

7. Ишлаб чиқилган фото- ва инжекция-вольтаик эффектлар қўлланилиши асосида ишлайдиган қувват кучайтирувчи фотоўзгартиргич тинч ҳолат токини барқарорлаш ва қўшимча созлаш ишларини талаб этмаслиги аниқланди, бу хусусиятлар мавжуд қуёш батареялари фотоўзгартиргичларининг қувват кучайтиргичлари самарадорлигини ошириш имконини берган.

8. Диссертация иши натижаларининг ишлатилишидан йиллик иқтисодий самара 830 млн. сўмни ташкил этди.



**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.28.12.2017.Т.07.02 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**АЛИМОВА НОДИРА БАТИРДЖАНОВНА**

**ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ  
ЭЛЕМЕНТОВ, УЗЛОВ И УСТРОЙСТВ НА ОСНОВЕ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОТО- И ИНЖЕКЦИОННО-ВОЛЬТАИЧЕСКИХ  
ЭФФЕКТОВ**

05.04.02 – Системы и устройства радиотехники, радионавигации, радиолокации и телевидения. Мобильные, волоконно-оптические системы связи (технические науки)

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА (DSc)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2019**

**Тема докторской (DSc) диссертации зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2019.3.DSc/T305.**

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.

Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный консультант:** **Арипов Хайрулла Кабилович**  
доктор физико-математических наук,  
профессор

**Официальные оппоненты:** **Раджабов Тельман Дадаевич**  
доктор физико-математических наук,  
профессор, академик

**Рахимов Бахтиёржон Незматович**  
доктор технических наук

**Ташманов Эржан Байматович**  
доктор технических наук

**Ведущая организация:** **Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта**

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 года в \_\_\_\_ часов на заседании Научного совета DSc.28.12.2017.T.07.02 при Ташкентском университете информационных технологий (Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; факс: (99871) 238-65-52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер № \_\_\_\_\_. Адрес: 100202, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-44).

Автореферат диссертации разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 года.  
(реестр протокола рассылки №\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 года)

**И.Х. Сиддигов**

Председатель научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., проф.

**Ж.Х. Джуманов**

Ученый секретарь научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., доц.

**А. Абдукаюмов**

Председатель научного семинара  
при Научном совете по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., проф.

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора (DSc))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В последнее время в мире в бурно развивающейся области микроэлектроники особое место занимают разработки принципов и методов построения радиотехнических элементов, узлов и устройств с повышенным рабочим током, низким напряжением, с малым потреблением энергии и со стабильными параметрами на основе фото- и инжекционно-вольтаических эффектов. В этом аспекте повышение рабочего тока и обеспечение низких рабочих напряжений с малым потреблением энергии требует разработки методов повышения стабильности параметров элементов и устройств радиотехники на основе использования фото- и инжекционно-вольтаических эффектов, что является основной проблемой современной микроэлектроники.

На сегодняшний день в мире большое внимание уделяется изучению фото- и инжекционно-вольтаических эффектов в усилительных полупроводниковых структурах и комплиментарных транзисторных устройствах. В связи с этим проведение исследований, таких как установление взаимосвязи фото-вольтаического эффекта с инжекционно-вольтаическим эффектом, с целью разработки генераторов тока и напряжения с заданными параметрами и последующей адаптацией этих эффектов в электронных переключающих ячейках, а также повышения стабильности параметров гомо- и гетеросоставных транзисторов, и наконец, разработка радиотехнических устройств на основе фото-и инжекционно-вольтаического эффектов с неискаженным выходным сигналом является одной из важных задач современного искусства схемотехники.

В Республике Узбекистан уделяется большое внимание исследованиям по совершенствованию радиотехнических узлов, блоков и устройств различного назначения на основе ранее неиспользованных эффектов, явлений и процессов для повышения качества и эффективности их функционирования. В Стратегии действий по пяти направлениям развития Республики Узбекистан в 2017-2021 годах определены задачи по «... сокращению энергоемкости и ресурсоемкости экономики, широкому внедрению в производство энергосберегающих технологий, повышению производительности труда в отраслях экономики, ...внедрению информационно - коммуникационных технологий в экономику, социальную сферу, систему управления»<sup>1, 3</sup>. В этой связи решение проблем устойчивости функционирования мощных выходных каскадов радиотехнических устройств и силовых коммутаторов на основе полупроводниковых переключающих приборов и снижения напряжения логических уровней до значений 1 В и менее в определенной степени являются основными задачами исследований диссертации.

---

<sup>1</sup> Указ Президента Республики Узбекистан от 07.02.2017 г. № УП-4947 «О стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан».

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в ряде указов и постановлений Президента страны, в том числе в четвертом направлении из пяти приоритетных направлений, приведенных в Указе Президента №-УП-4947 «О приоритетных действиях по дальнейшему развитию Республики Узбекистан» от 7 февраля 2017 года, постановлениях Президента № ПП-2789 «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности Академии наук, организации, управления и финансирования научно-исследовательской деятельности» от 17 февраля 2017 года и № ПП-3682 «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практического внедрения инновационных идей, технологий и проектов» от 27 апреля 2018 года, а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере и изложенных в соответствующих законодательных актах.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан.** Диссертация выполнена в рамках приоритетных направлений развития науки и технологий Республики Узбекистан III. «Энергетика, энерго и ресурсосбережение, транспорт, машинно- и приборостроение; развитие современной электроники, микроэлектроники, фотоники, электронного приборостроения» и IV. «Развитие информатизации и информационно-коммуникационных технологий».

#### **Обзор зарубежных научных исследований по теме диссертации<sup>2,4</sup>**

Научные исследования в области создания составных фототранзисторов проводятся в ведущих научных центрах мира, высших образовательных учреждениях в широком масштабе, в частности, в Institute of Electrical and Electronics Engineers, Massachusetts Institute of Technology, The American Institute of Physics, Cambridge University (США), Physics and Materials Research (Франция), Technical University Munich, Technical University Darmstadt (Германия), The University of Tokyo, Tokyo Institute of Technology (Япония), Seoul National University (Южная Корея), Центральный научно-исследовательский институт связи и его филиалы, Межотраслевой научно-информационный центр, Московский технический университет связи и информатики, Научно - исследовательский институт радио и его филиалы (Москва, Россия), Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург, Россия), Физико-технический институт НПО "Физика-Солнце" АН РУз, Ташкентский университет информационных технологий и Ташкентский государственный технический университет (Узбекистан).

В настоящее время ведется ряд исследований по созданию радио-

---

<sup>2</sup> Обзор зарубежных исследований по теме диссертации К. Nakajima, N. Usami, Sze S.M . Fundamentals of Semiconductor Fabrication. John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2004. 305 p., Ж.И. Алферов, В.М. Андреев, В.Д. Румянцев. ФТП, 2004, том 38, вып. 8, С. 937-948., Rumyantsev V.D. Concentrator Photovoltaic. SSOS, 2007. P. 130-151., Muller M, Deline C., Marion B., Kurtz S., Bosco N. AIP Conf. Proc., 2011. P. 331., Zh. I. Alferov, "The semiconductor revolution of the 20th century", Russian Chem. Reviews, 82:7 (2013). P. 587-596, а также проведенного на основе других источников.

технических элементов, узлов и устройств на основе фото- и инжекционно-вольтаических эффектов. В частности, на основе обнаруженной связи фото- и инжекционно-вольтаического эффектов в многослойных полупроводниковых структурах разработаны различные технологии фотоэлектрических элементов, таких как селенид меди-индия-галлия и теллурия-кадмия, которые совместимы с производством большой площади (University of Florida, State University of New York, Heriot-Watt University, Edingburgh UK), тонкопленочные клетки фотоэлектрических элементов, содержащие субстрат: первый диэлектрический слой на подложке, активный слой на первом диэлектрическом слое, и плазмоник для связи падающего света в первом диапазоне длин волн в активный слой (Санкт-Петербургский политехнический институт, Россия), предложен новый тип усилителей мощности с автоматической настройкой тока покоя (Ташкентский университет информационных технологий), исследованы фотоэлектрические свойства полупроводниковых пленок, обладающих эффектом аномального фотонапряжения используемые при создании приемников оптического излучения (ГОУ ВПО «Сибирская Государственная Геодезическая Академия»), предложено использование примесного фото-вольтаического эффекта солнечного фотопреобразователя и снижение потери энергии, обусловленное термолизацией высокоэнергичных фотонов, для повышения эффективности солнечных элементов (Физико-технический институт НПО "Физика-Солнце" АН РУз).

Разработка низковольтных базовых логических элементов является одним из перспективных направлений научных исследований по созданию цифровых больших интегральных схем.

**Степень изученности проблемы.** В мире учеными К. Nakajima, N. Usami, T. Mimura (Япония), D. Delagebeaudeuf, P. Deleseluse (Франция) и и другими исследованы фото-вольтаические эффекты в концентраторных солнечных элементах, полевые транзисторы с двумерным электронным газом и транзисторы с высокой подвижностью электронов.

Российскими учеными Ж.И. Алферовым, В.М. Андреевым, В.Д. Румянцевым и другими ведутся работы по разработке концентраторных солнечных элементов на основе гетеропереходов, а также по созданию инжекционных полупроводников, лазеров с низкими пороговыми токами, исследуются взаимодействия излучения с веществом и исследованы экспериментальные методы изучения оптических свойств полупроводников. Учеными М. Лампертом, П. Марком, А.Н. Зюгановым, С.В. Свечниковой, В.И. Стрихам, К.В. Шалимовой изучены инжекционно-контактные явления: монополярная и двойная инжекция носителей заряда в полупроводниках, а также физические основы работы контакта металл-полупроводник, р-п переход и гетеропереход.

Учеными нашей страны М.С. Саидовым, А.С. Саидовым, М.К. Бахадырхановым, А.Ю. Лейдерманом, М.Х. Ашуровым проводились исследования на основе арсенида галлия и ведутся исследования по

получению фотодиодных структур на их основе. В работах Х.К. Арипова, Х.Х. Бустанова, Е.В. Обьедкова, Ж.Т. Максудова, И.Р. Фазылжанова, А.А. Ярмухамедова и Ф.Р. Насырходжаева теоретически обоснован и экспериментально подтвержден инжекционно-вольтаический эффект в биполярных транзисторных и тиристорных структурах.

Однако, принципы и методы построения радиотехнических элементов, узлов и устройств с учетом фото-вольтаического и инжекционно-вольтаического эффектов во взаимосвязи и взаимовлиянии на практике изучены не достаточно.

**Связь темы диссертации с научными исследованиями организаций высшего образования, где выполнена диссертационная работа.** Диссертационное исследование выполнено в Ташкентском университете информационных технологий согласно плану приоритетных научно-технических направлений Министерства по развитию информационных технологий и коммуникации Республики Узбекистан, в рамках следующих НИР: №4-05 «Разработка и исследование базовых цифровых схем на основе инжекционно – вольтаических элементов» (2005-2007 гг.); №1-06 «Разработка мощных усилителей на основе инжекционно – вольтаических транзисторов» (2006-2008 гг.); №1-07 «Исследование модуля высокоэффективного преобразователя солнечной энергии с использованием термофото-вольтаической конверсии» (2007-2009 гг.); №ИДА-6 «Создание базовых элементов аналоговых и цифровых схем телекоммуникационных устройств на основе инжекционно – вольтаического и фото – вольтаического эффектов» (2007-2009 гг.); №Ф-249-08 «Разработка элементов полупроводниковой силовой электроники на основе многослойных каскадных инжекционно-вольтаических транзисторов» (2008-2010 гг.); № 3-11 «Оптоэлектронные преобразователи информации» (2012-2014 гг.) и БВ Ф3-004 «Фото- и инжекционно-вольтаические эффекты в многослойных гетероструктурах» (2017-2020 гг.).

**Целью исследования** является разработка принципов и методов создания радиотехнических элементов, узлов и устройств, основанных на фото- и инжекционно-вольтаического эффектах.

**Задачи исследования:**

разработка принципов создания радиотехнических элементов, узлов и устройств на основе использования фото-вольтаического и инжекционно-вольтаического эффектов;

разработка фото-вольтаического, инжекционно-вольтаического и комбинационного (фото- и инжекционно-вольтаического) методов для стабилизации рабочих режимов радиотехнических устройств;

разработка принципов построения управляемых генератора тока и напряжения, работающих в инжекционно-вольтаическом режиме, с высоким коэффициентом полезного действия и имеющих единую структуру;

разработка методов создания адаптированных электронных переключающихся ячеек и логических элементов на их основе на базе инжекционно-вольтаического эффекта;

разработка гомогенных и гетерогенных составных транзисторов, многокаскадных гомогенных и гетерогенных составных транзисторов, многозвенных каскодных составных транзисторов;

разработка комбинационного метода создания фотопреобразователей с усилением на основе гомогенных, гетерогенных и каскодных радиотехнических элементов.

**Объектом исследования** являются электронные переключающиеся ячейки, управляемые генераторы тока и напряжения, составные гетеро- и гомотранзисторы, фотопреобразователи с усилением.

**Предметом исследования** являются принципы, методы, алгоритмы и математические модели радиотехнических устройств.

**Методы исследования.** В процессе исследований использовались методы теории линейных и нелинейных электрических цепей, многопараметрическое моделирование нелинейных электронных схем на биполярных транзисторах, численные методы решения нелинейных уравнений, исследование вольтамперных и нагрузочных характеристик.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработаны принципы избыточности, идентичности, обратной связи, дуальности для создания радиотехнических элементов, узлов и устройств на основе использования фото- и инжекционно-вольтаических эффектов;

разработаны фото-вольтаический, инжекционно-вольтаический и комбинированный (фото- и инжекционно-вольтаический) методы для стабилизации рабочих режимов радиотехнических устройств;

разработаны генераторы тока и напряжения, работающие в инжекционно-вольтаическом режиме, с высоким коэффициентом полезного действия и возможностью их создания в единой структуре;

доказан метод изготовления логических элементов на основе инвертора на комплиментарных биполярных транзисторах, работающего при рабочих напряжениях с разницей контактных потенциалов, равной 0,7 В;

доказано, что инвертор на комплиментарных биполярных транзисторах

отличается температурной стабильностью параметров и симметричностью передаточной характеристики;

обоснован метод эмиттерной самостабилизации тока коллектора в многозвенных гомогенных, гетерогенных составных и каскодных транзисторах;

доказано, что гомогенные и каскодные фотопреобразователи с усилением отличаются возможностью оптимизации по диапазону спектральной чувствительности и коэффициенту усиления и имеющие широкий диапазон устойчивой работы по мощности, отдаваемой в нагрузку, напряжению коллектор-эмиттер и температуре;

разработаны фотопреобразователи с усилением мощности на основе фото- и инжекционно-вольтаического эффектов, функционирующие без стабилизации тока покоя и не требующие дополнительной настройки.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработаны термоустойчивые управляемые генераторы тока и напряжения, работающие в фото- и инжекционно-вольтаическом режиме;

применен в производстве комплиментарный биполярный транзистор, позволяющий создать цифровые схемы, адаптированные для работы с переключаемыми уровнями, пониженных до 0,7 В;

применены на практике гетеро- и гомосоставные транзисторы, работающие в условиях высоких температур и перепадов питающего напряжения, кратном превышающем напряжение пробоя, относительно отдельно взятого биполярного транзистора;

разработаны основы гетерогенный, гомогенный и каскодный фотопреобразователи с усилением, имеющие высокую фоточувствительность и повышенную максимальную рассеиваемую мощность.

**Достоверность результатов исследований** практически подтверждена путем сравнения разработанных методов с современными научными и технологическими методами, со стандартными и апробированными методиками контроля параметров и характеристик полупроводниковых приборов.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследований расширяет круг новшеств и знаний о принципах и методах построения радиотехнических элементов, узлов и устройств на основе фото- и инжекционно - вольтаических эффектов.

Практическая значимость результатов исследований заключается в том, что предложенные методы исследования применяются при разработке новой серии полупроводниковых и оптоэлектронных приборов.

**Внедрение результатов исследования.** На основе разработки принципов и методов создания радиотехнических элементов, узлов и устройств, основанных на фото- и инжекционно-вольтаических эффектах:

инвертор на комплиментарных биполярных транзисторах, отличающийся стабильностью параметров при изменениях рабочего напряжения и температуры внедрен в АО «Фотон» Ассоциации «Узэлтехсаноат» (справка Ассоциации «Узэлтехсаноат» от 31 мая 2019 года № 04-4/615). Применение научных результатов позволило развить и модернизировать технологии электронной промышленности;

инвертор на комплиментарных биполярных транзисторах, работающий при рабочих напряжениях, пониженных до 0,7 В, внедрен при разработке элементной базы лабораторных комплексов по электронике, микроэлектронике и цифровой технике в ООО «УМЦ СПб ГУТ» и при разработке элементной базы радиотехнических и оптоэлектронных устройств телекоммуникации в ООО «Broadband Solution» (справка Министерства по



развитию информационных технологий и коммуникации Республики Узбекистан от 1 ноября 2019 года №3-8/7784). Использование научных результатов позволило снизить рабочие напряжения до 0,7 В, импортозамещать радиотехнические и телекоммуникационные устройства;

многозвенные гомогенные, гетерогенные и каскодные составные транзисторы, на основе принципа дуальности, идентичности и инжекционно-вольтаического метода, позволяющие повысить надежность и стабильность параметров при эксплуатации, внедрены в СП ООО «Smart vision» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникации Республики Узбекистан от 1 ноября 2019 года №3-8/7784). Применение научных результатов позволило осуществить самостабилизацию тока коллектора;

фотопреобразователи с усилением сигнала, на основе принципа дуальности, идентичности и комбинационного (фото- и инжекционно-вольтаического) метода, позволяющие повысить надежность и стабильность параметров при эксплуатации, внедрены в СП ООО «Smart vision» (справка Министерства по развитию информационных технологий и коммуникации Республики Узбекистан от 1 ноября 2019 года №3-8/7784). Применение научных результатов позволило обеспечить функционирование устройства без стабилизации тока покоя и дополнительной настройки.

**Апробация результатов исследования.** Теоретические и практические результаты исследований докладывались и обсуждались на 14 научно-практических конференциях, в том числе на 10 международных и 4 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 36 научных работ, в том числе 18 научных статей, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, из них: 6 в международных журналах и 12 в республиканских журналах, а также получены 4 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, заключения, списка использованной литературы. Основная часть диссертации составляет 176 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** обоснована актуальность и востребованность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, выявлены объект и предмет исследования, определено соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике Узбекистан, изложены научная новизна и практические результаты исследований, обоснована достоверность полученных результатов, раскрыты теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведен список внедрений в практику результатов исследования, список апробаций

результатов работы, сведения по опубликованным работам и структуре диссертации.

В первой главе «**Современное состояние, проблемы и перспективы инновационного развития радиотехнических элементов, узлов и устройств**» приведен анализ современного состояния радиотехнических элементов, узлов и устройств, выявлены проблемы использования многослойных полупроводниковых приборов, проанализированы перспективы инновационного развития. Рассмотрена иерархия построения радиотехнической системы в виде своеобразной пирамиды и классификация каскадов и звеньев, применяемых в радиотехнических устройствах, вне зависимости от их назначения. Изучены нестабильности характеристик и причины пробоев транзисторов. Проведен анализ гетерогенных и гомогенных фотоприемников и изучены требования к технологиям их изготовления. Описан механизм возникновения фото-вольтаического эффекта в солнечных элементах. Теоретически предсказан и экспериментально обнаружен инжекционно – вольтаический эффект в биполярных транзисторах, который наблюдается в транзисторных структурах при инжекции носителей тока из одного прямосмещенного р–п перехода в другой и заключается в генерации напряжения в нём. Из приведенного обзора и анализа современных радиотехнических элементов, узлов и устройств были сформулированы задачи исследования.

По результатам проделанной работы установлено:

- схемотехнические решения на основе биполярных транзисторов имеют ряд основных проблемных вопросов, еще не нашедших конкретного инженерного решения, а вопрос синтеза и исследования базовых элементов низковольтных цифровых схем на основе использования инжекционно-вольтаического режима работы БТ является все еще открытым.

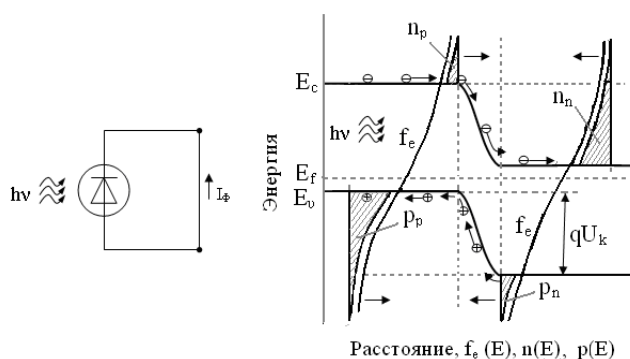
- рассмотренные в данной главе фотоприемники оптического излучения имеют ряд недостатков: низкий квантовый выход, низкое напряжение вторичного пробоя и высокую температурную нестабильность, существует проблема обеспечения совокупности технических параметров оптоэлектронных схем.

Сложившееся положение требует развития новых подходов к проблеме синтеза базовых элементов аналоговых и цифровых устройств радиотехники на основе новых физических явлений. Удачной в этой связи видится создание новой сильноточной и низковольтной элементной базы, основанной, в частности, на совместном применении фото-вольтаического и инжекционно-вольтаического эффектов. Отмеченные обстоятельства указывают на необходимость создания новых принципов и методов построения радиотехнических элементов, узлов и устройств на основе использования фото-вольтаического и инжекционно-вольтаического эффектов. На основе анализа имеющихся литературных данных сформулирована постановка задачи.

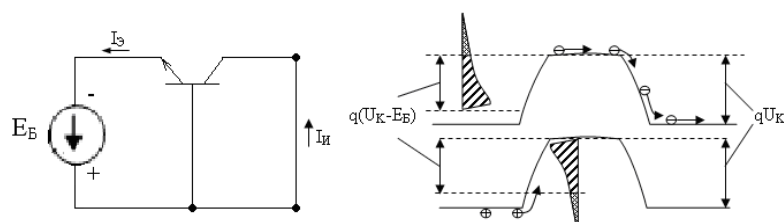
Вторая глава диссертации «Исследование генераторов тока и напряжения на основе фото- и инжекционно-вольтаических эффектов» посвящена исследованию аналогии фото-вольтаического эффекта в солнечных элементах с инжекционно-вольтаическим эффектом в диодах, биполярных транзисторах и тиристорных структурах. Показана возможность использования развитых модельных представлений о нелинейных свойствах р-п переходов, представления более детального научного обоснования применения биполярных транзисторов, устройств на их основе, с учетом того, что процесс инжекции в эмиттерном переходе приводит к генерации инжекционно-вольтаической электродвижущей силы.

Согласно зонных диаграмм солнечного элемента и биполярного транзистора, представленных на рис. 1 для солнечного элемента и биполярного транзистора при  $R_H = 0$  (рис. 1, а и б) по проводнику течет ток короткого замыкания.

а)



б)

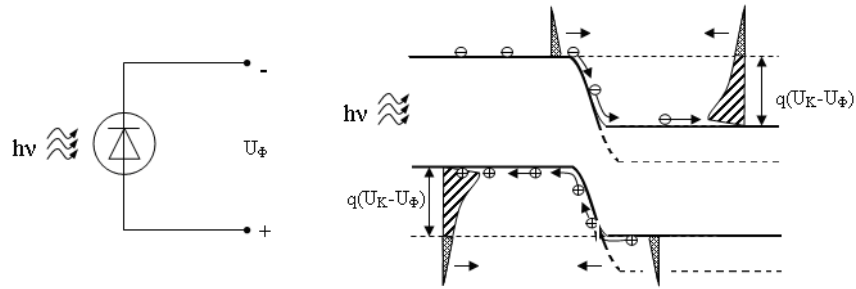


**Рис. 1. Схемы включения и энергетические зонные диаграммы солнечного элемента (а) и биполярного транзистора (б) в режиме короткого замыкания**

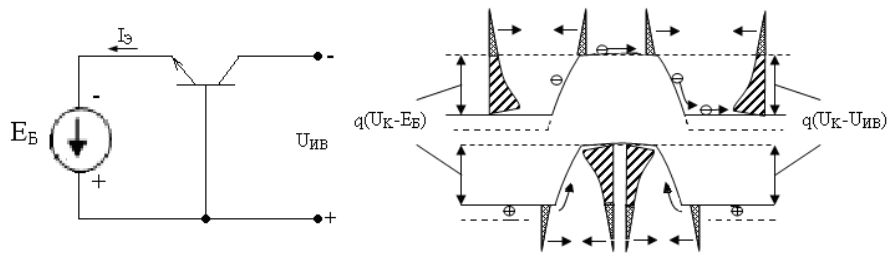
Если цепь, содержащая солнечный элемент или биполярный транзистор, разомкнута ( $R_H = \infty$ ), то возникает напряжение холостого хода  $U_{X.X}$  (рис. 2, а и б), равно соответственно  $U_\Phi$  и  $U_{ИВ}$ .

На рис. 3, а и б, соответственно, приведены энергетические зонные диаграммы солнечного элемента в фото-вольтаическом режиме и биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме в случае подключения нагрузки  $R_H$ .

а)

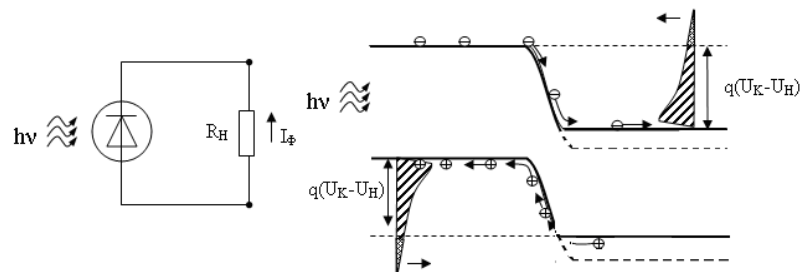


б)

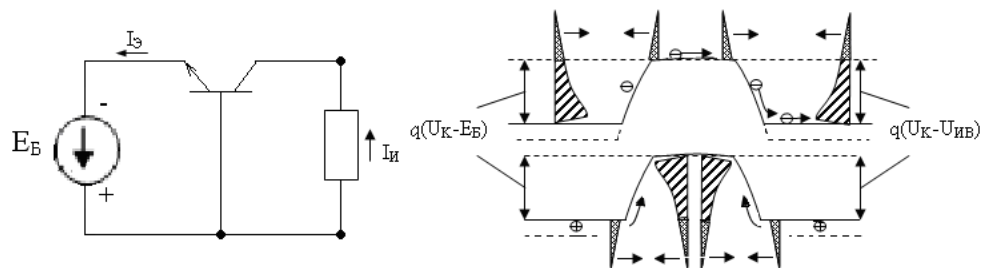


**Рис. 2. Схемы включения и энергетические зонные диаграммы солнечного элемента (а) и биполярного транзистора (б) в режиме холостого хода**

а)



б)

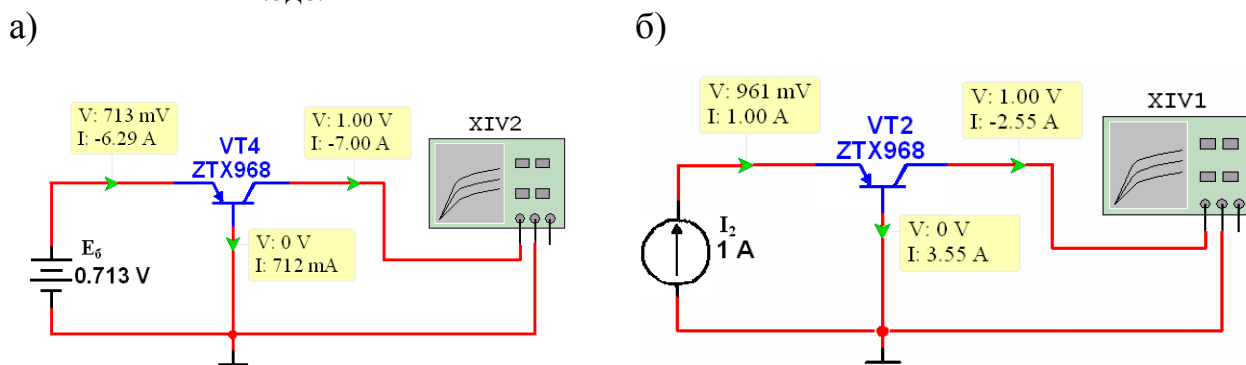


**Рис. 3. Схемы включения и энергетические зонные диаграммы солнечного элемента (а) и биполярного транзистора (б) в режиме с подключенной нагрузкой  $R_H$**

Величины инжекционно-вольтаического напряжения для биполярного транзистора и фото-вольтаического напряжения для солнечного элемента, а также тока инжекции и фототока зависят от значения сопротивления нагрузки  $R_H$ .

Таким образом, варьируя значениями нагрузочного сопротивления  $R_H$  от нуля до бесконечности, экспериментально можно получить нагрузочную характеристику в фото-вольтаическом и инжекционно-вольтаическом режиме.

Для солнечного элемента при  $R_H=0$  напряжение  $U_H=0$  и  $I_H = I_f$ . При возрастании  $R_H$  до  $R_{КРИТ}$  ток солнечного элемента будет оставаться практически постоянным, что соответствует режиму генератора тока, а прямое напряжение на солнечном элементе будет расти. При достаточно большом значении  $R_H$  ( $R_H=\infty$ ) ток нагрузки равен нулю, что соответствует режиму генератора напряжения. При этом значение напряжения холостого хода  $U_{ХХ} = U_{ФВ.ЭДС}$ .

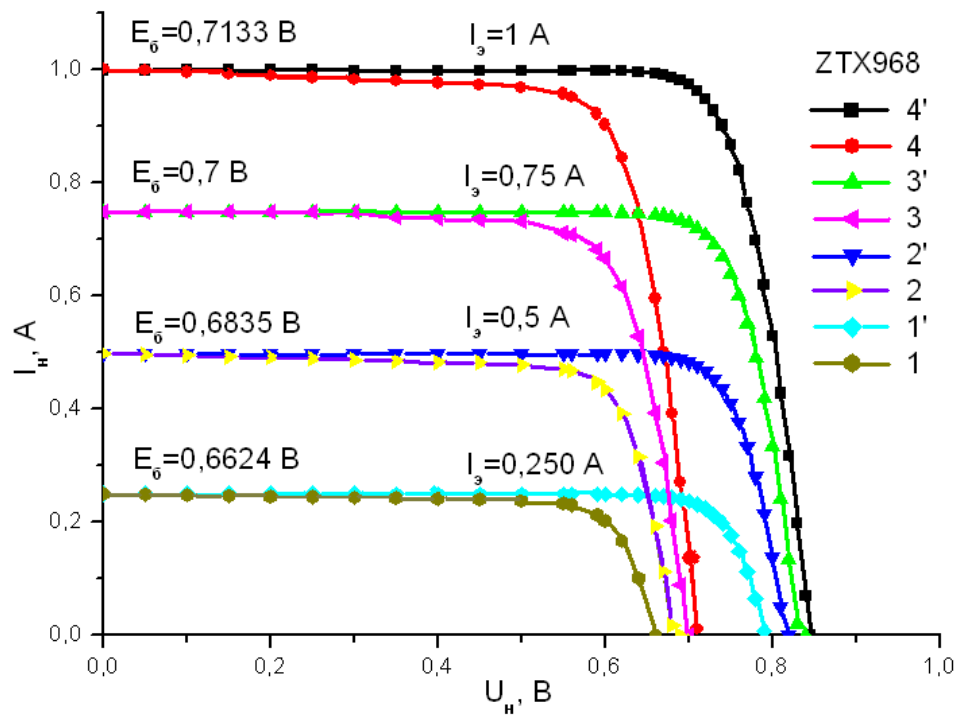


**Рис. 4. Схемы управляемых генераторов тока при управлении: напряжением  $E_B$  (а) и током  $I_3$  (б)**

Для создания управляемых генераторов тока, устойчивых к повышению рабочих температур и к нестабильности питания с высокими значениями выходного тока, предложено использование биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме (рис. 4). Исследования биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме проведены с помощью программы Multisim 10.1 компании National Instruments.

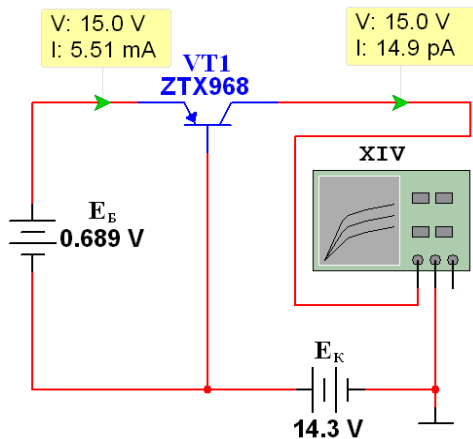
На горизонтальной части характеристики БТ имеет высокое динамическое сопротивление (рис.5), поэтому он может быть рассмотрен как генератор тока для внешних цепей, которые имеют меньшее внутреннее сопротивление.

Вместе с тем, биполярный транзистор в инжекционно-вольтаическом режиме работы уже является управляемым генератором напряжения (рис. 6), так как на вертикальной части характеристики биполярный транзистор имеет низкое динамическое сопротивление (рис. 7).

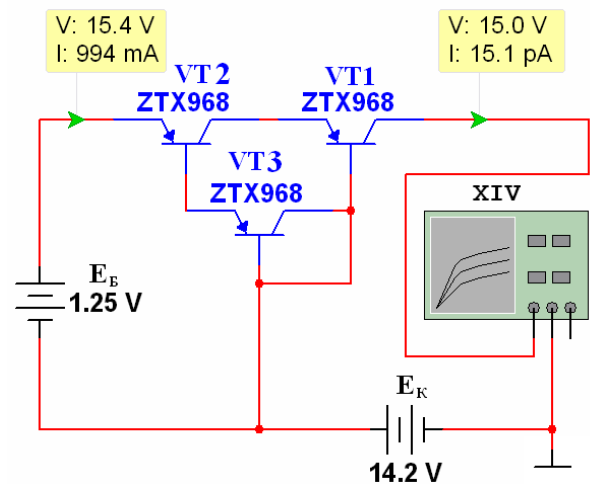


**Рис. 5. Нагрузочные ВАХ р-п-р биполярного транзистора ZTX968 в инжекционно-вольтаическом режиме при управлении: напряжением (1-4) и током эмиттера (1'-4')**

а)



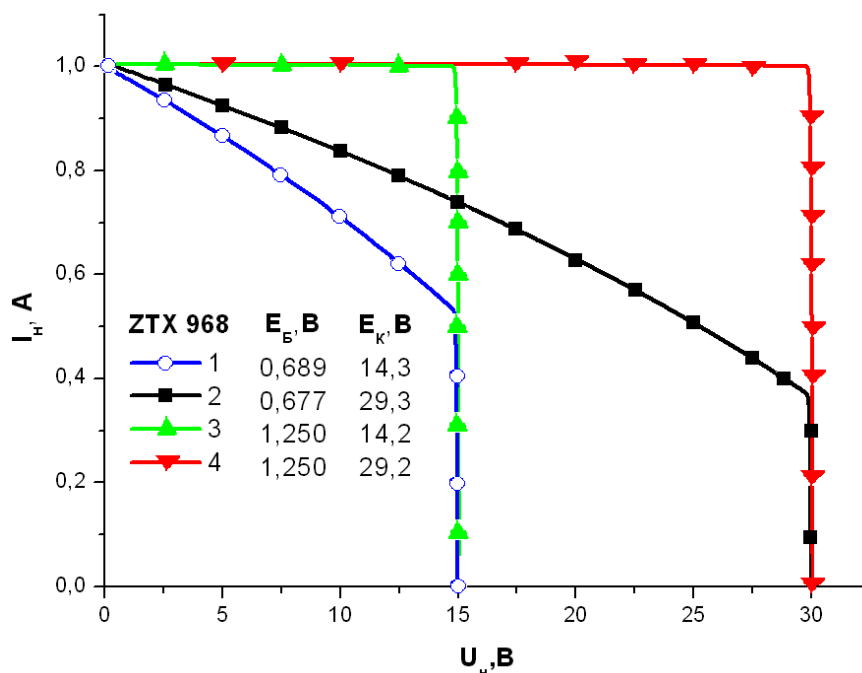
б)



**Рис. 6. Схемы управляемых генераторов напряжения на биполярном (а) и трехструктурном гомосоставном транзисторе (б)**

Полученные результаты исследования аналогии фото – вольтаического эффекта в солнечных элементах и инжекционно-вольтаического эффекта в многослойных полупроводниковых структурах позволили создать новую сильноточную и низковольтную элементную базу

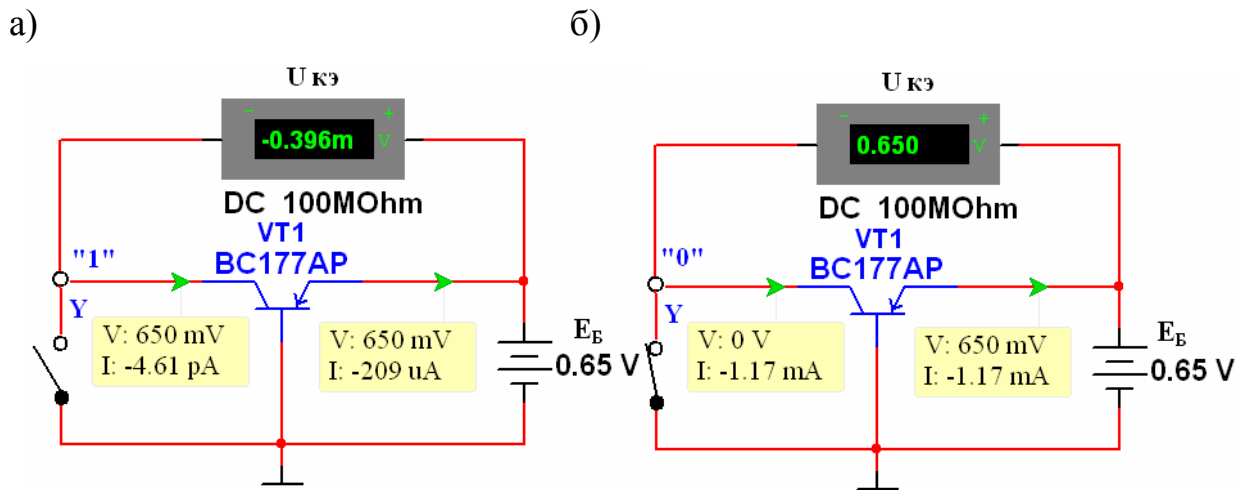
аналоговых и цифровых устройств электроники. При разработке управляемых генератора тока и напряжения предложен принцип дуальности для стабилизации их рабочих режимов использовался инжекционно-вольтаический метод.



**Рис. 7. Нагрузочные ВАХ биполярного транзистора ZTX968 в инжекционно-вольтаическом режиме при управлении напряжением  $E_K$**

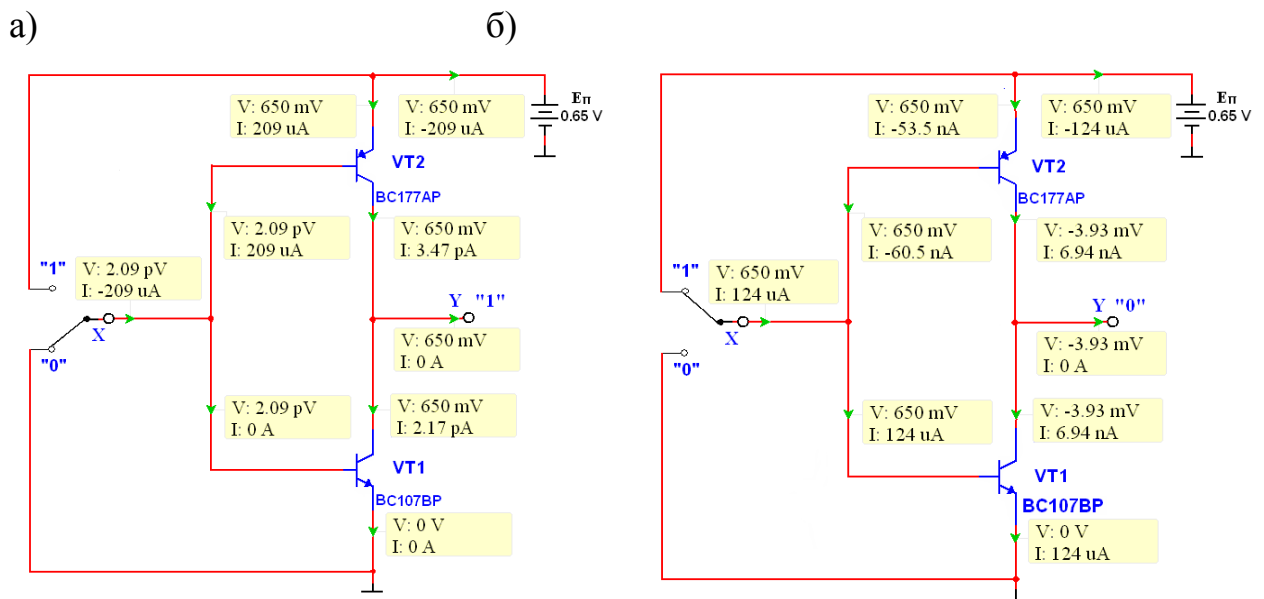
В третьей главе «Принципы и методы построения радиотехнических элементов на основе использования инжекционно – вольтаического эффекта» на основе принципов дуальности, идентичности и инжекционно-вольтаического метода приведены результаты экспериментального исследования цифровых схем, адаптированных для работы с переключаемыми уровнями напряжения порядка контактной разности потенциалов полупроводников, которые используется в биполярных транзисторах. Такая задача является актуальной в связи с существующей тенденцией снижения напряжения логических уровней в современной цифровой технике до значений 1 В и менее для уменьшения потребляемой (и рассеиваемой электронной схемой в виде тепла) электрической мощности.

На основе рассмотрения двух различающихся состояний биполярного транзистора, включенного по схеме с общей базой и работающего в инжекционно-вольтаическом режиме, получены следующие выводы (при  $E_B = 0,65 \text{ V}$ ): в разомкнутом состоянии ключа – режим холостого хода (рис. 8 а) и в замкнутом состоянии ключа – режим короткого замыкания (рис. 8 б), можно заключить, что в первом случае выходное напряжение соответствует низкому уровню (логическому нулю  $U^0$ ), во втором случае - высокому уровню (логической единице  $U^1$ ).



**Рис. 8. Инжекционно-вольтаический режим биполярного транзистора: состояние холостого хода (а) и короткого замыкания (б)**

В указанных схемах ключ можно заменить электронным ключом на основе биполярного транзистора, также работающим в инжекционно-вольтаическом режиме.



**Рис. 9. Инвертор на комплиментарных биполярных транзисторах в инжекционно-вольтаическом режиме при подаче на вход логического нуля (а) и единицы (б)**

Предложена новая в схемотехническом отношении базовая ячейка цифровых интегральных микросхем - инвертор на комплиментарных биполярных транзисторах, работающий при напряжениях питания, ограниченных естественным пределом порядка контактной разности потенциалов в р-п переходе (рис. 9). Разработаны методы расчета передаточной характеристики инвертора на комплиментарных биполярных

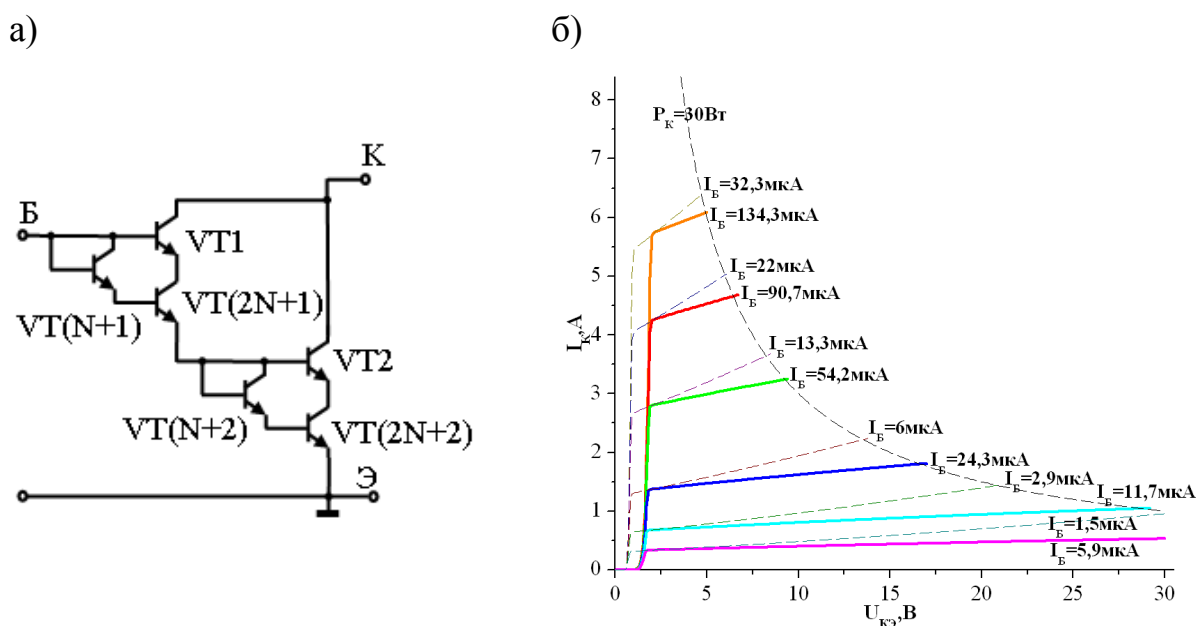


транзисторах и программа расчета. Выявлено, что инвертор на комплиментарных биполярных транзисторах имеет симметричную передаточную характеристику. Результаты были получены на базе моделирующей программы Multisim 10.1 компании National Instruments.

Установлено, что инвертор на комплиментарных биполярных транзисторах является базовой ячейкой для синтеза логических элементов И-НЕ, ИЛИ-НЕ с произвольным набором входов и выходов, и других цифровых устройств, а при их создании предложены принципы дуальности и идентичности. При синтезе инвертора на комплиментарных биполярных транзисторах и логических элементов И-НЕ, ИЛИ-НЕ использовался инжекционно-вольтаический метод.

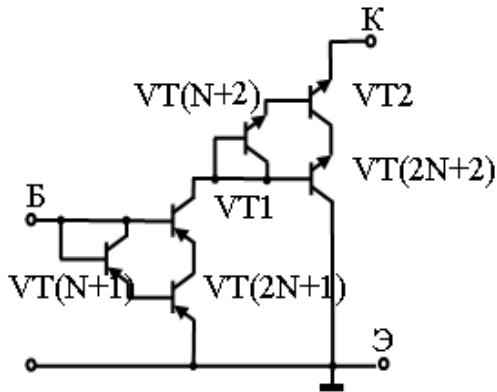
В четвертой главе «**Принципы и методы построения радиотехнических узлов на основе использования фото- и инжекционно-вольтаического эффектов**» на основе принципов избыточности, идентичности и инжекционно-вольтаического метода экспериментально изучена возможность применения гомогенных и гетерогенных составных транзисторов и многозвенных каскодных составных инжекционно-вольтаических транзисторов при работе в условиях высоких температур и перепадов питающего напряжения. Для этого были выбраны составные транзисторы, такие как: пара Дарлингтона, пара Шиклаи, каскодная схема включения транзисторов, схемы токового зеркала.

Для повышения коэффициента усиления по току в составных транзисторах были предложены многокаскадные гомогенные и гетерогенные транзисторы (рис. 10 и 11). Для исследования вольт-амперных характеристик гомогенных и гетерогенных составных транзисторов разработана диалоговая моделирующая программа.

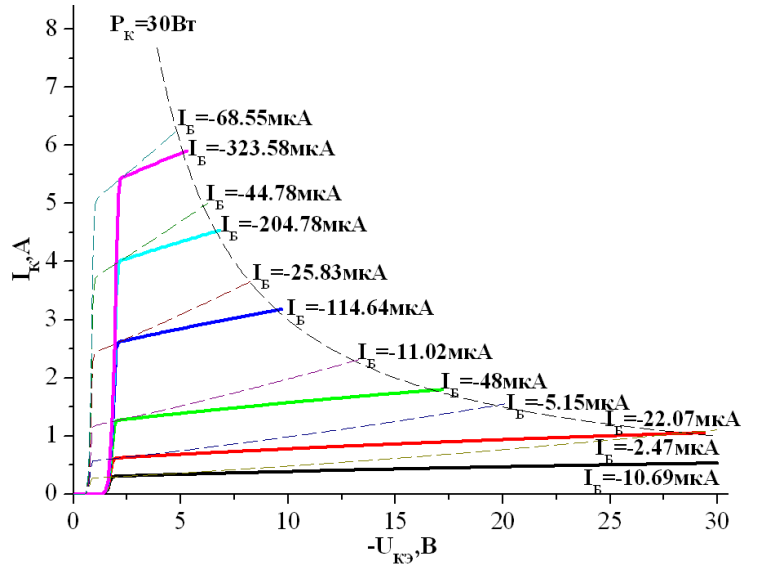


**Рис. 10. Схема двухкаскадного гомосоставного транзистора по схеме Дарлингтона (а) и семейство выходных характеристик (б)**

а)

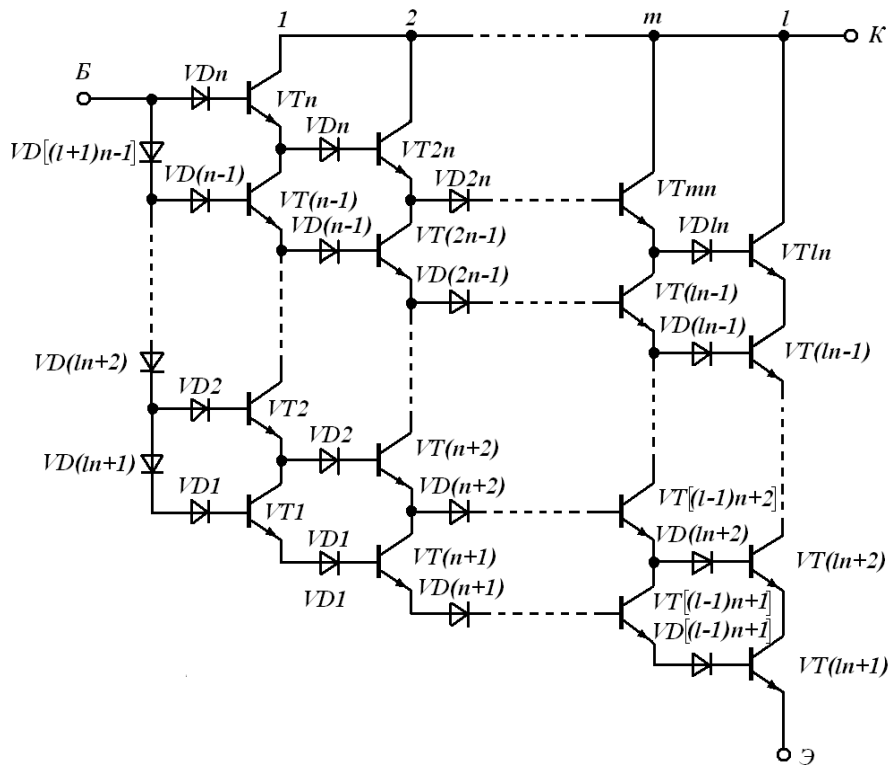


б)



**Рис. 11. Схема двухкаскадного гомосоставного транзистора по схеме Шиклаи (а) и семейство выходных характеристик (б)**

Для устранения самовозбуждения и повышения надежности работы в условиях высоких температур и перепадов питающего напряжения было предложено применить каскодные схемы, в частности, предложен многозвенный каскодный транзистор, состоящий из составных транзисторов последовательно соединенных в цепочку делителя напряжения.



**Рис. 12. Схема многозвенного каскодного составного транзистора**

Модульность и возможность использования многозвенного каскодного составного транзистора для переключения состояния высоковольтного источника электрической мощности позволяет наращивать выходную мощность за счет увеличения тока нагрузки и напряжения источника питания, соответственно (рис 12).

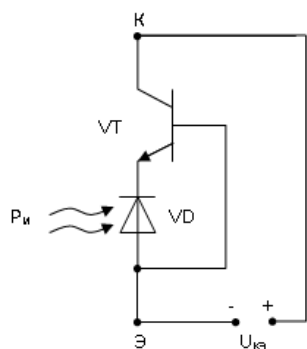
Выявлено, что разработанные гомогенные и каскодные фотопреобразователи с усилением отличаются оптимальным диапазоном спектральной чувствительности (для кремния  $E_g=1,12$  эВ ( $\lambda=500\div1100$  нм) и арсенида галлия  $E_g=1,43$  эВ ( $\lambda=400\div900$  нм)) коэффициентом усиления по току на два порядка и напряжению на три порядка.

В гомогенных, гетерогенных и каскодных составных транзисторах применен метод схемотехнической избыточности. При их исследовании использовались фото-вольтаический и инжекционно-вольтаический методы.

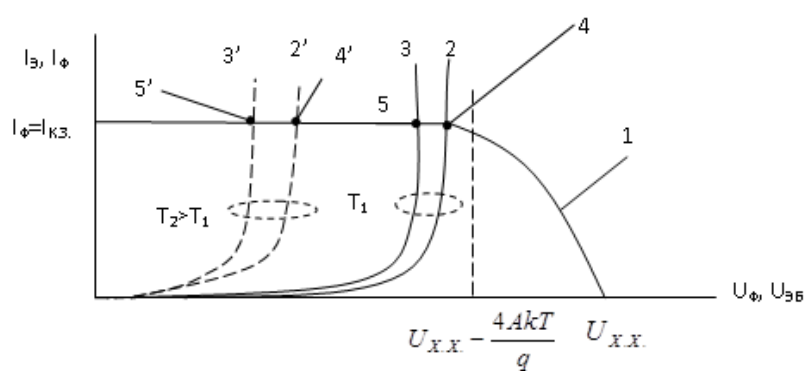
В пятой главе «Исследование радиотехнических устройств на основе использования фото – и инжекционно – вольтаических эффектов» на основе принципов избыточности, идентичности и комбинационного (фото- и инжекционно-вольтаического) метода показаны возможности использования инжекционно-вольтаического эффекта для существенного улучшения стабильности параметров дискретных биполярных транзисторных структур. С помощью взаимного использования фото- и инжекционно-вольтаического эффектов разработаны высоко-стабильные фотоприёмные узлы.

Предложен фотоприёмный узел на основе фото- и инжекционно-вольтаических эффектов, выполненный на основе дискретных структур - фотодиод и биполярный транзистор, с разной шириной запрещенной зоны, который позволяет расширить диапазон допустимых напряжений коллектор-эмиттер и рабочих температур (рис. 13). Использование дискретного широкозонного фотодиода позволило оптимизировать величины и характер спектральной чувствительности независимым образом. В качестве недостатка фотоприёмного узла можно указать на низкую фоточувствительность.

а)



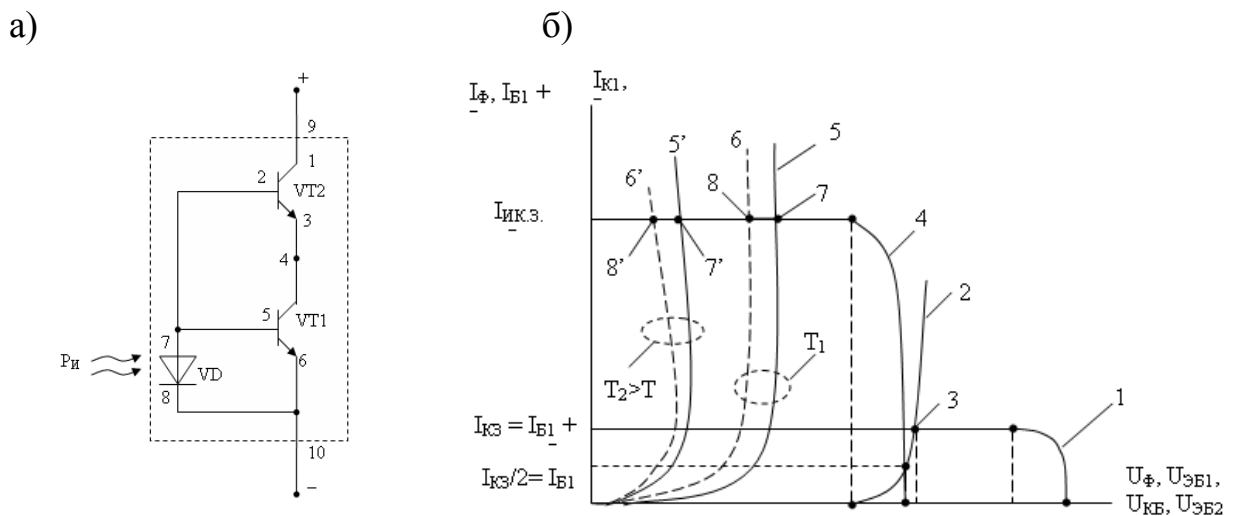
б)



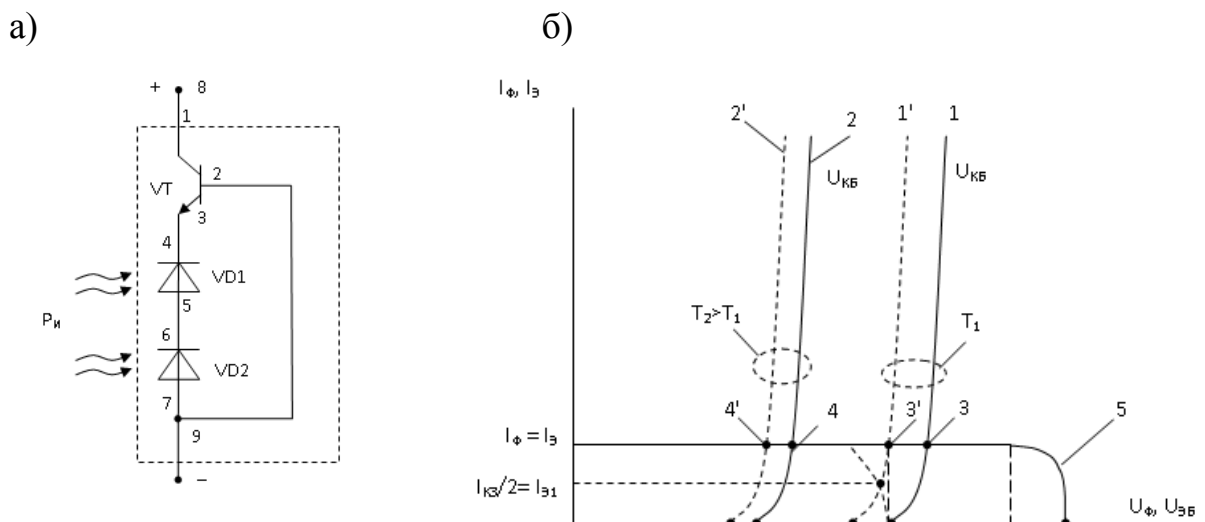
**Рис. 13. Схема фотоприёмного узла (а) и его нагрузочная характеристика (б)**

Для исключения данного недостатка были предложены гетерогенный (рис. 14) и гомогенный (рис. 15) фотопреобразователи с усилением, с возможностью оптимизации по диапазону спектральной чувствительности и коэффициенту усиления, имеющие широкий диапазон устойчивой работы по мощности, отдаваемой в нагрузку, напряжению коллектор-эмиттер и температуре.

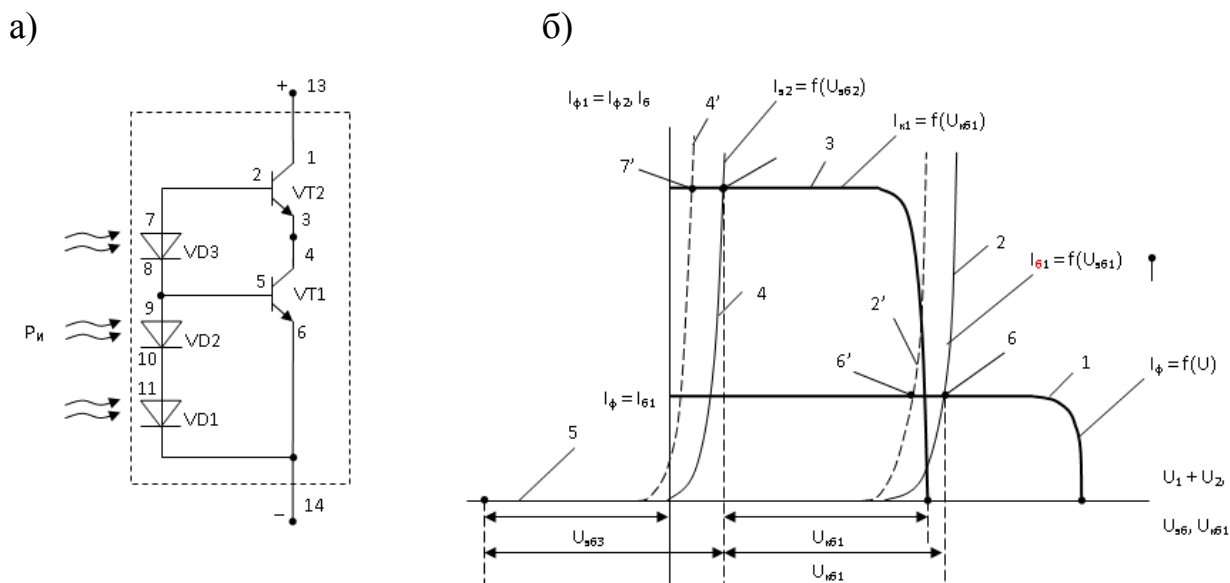
Предложен каскодный фотоприёмный узел с усилением, который может быть использован в беспроводных оптических системах, в схемах дистанционного управления, оптического датчика, оптореле и другого электронного оборудования (рис. 16).



**Рис. 14. Схема гетерогенного фотоприёмного узла с усилением (а) и его нагрузочная характеристика (б)**



**Рис. 15. Схема гомогенного фотоприёмного узла с усилением (а) и его нагрузочная характеристика (б)**



**Рис. 16. Схема каскодного фотоприёмного узла с усилением (а) и его нагрузочная характеристика (б)**

Показано, что разработанный каскодный фотоприёмный узел с усилением имеет высокую фоточувствительность и повышенную максимальную рассеиваемую мощность при использовании одинакового полупроводникового материала для биполярного транзистора и фотоприёмного узла.

Предложен простой, эффективный и устойчивый к сильному перегреву электронный блок на трехструктурных гомогенных составных транзисторах для управления двигателем концентраторных фотоэлектрических установок. При создании фотопреобразователей с усилением предложены принципы избыточности и идентичности. При стабилизации рабочих режимов устройства использован комбинационный (фото- и инжекционно-вольтаический) метод.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе разработки принципов и методов создания радиотехнических элементов, узлов и устройств, основанных на фото- и инжекционно-вольтаических эффектах сделаны следующие выводы:

1. Расширены возможности создания радиотехнических элементов, узлов и устройств на основе использования фото- и инжекционно-вольтаических эффектов и применения разработанных принципов избыточности, идентичности, обратной связи, дуальности;

2. Разработаны фото-вольтаический, инжекционно-вольтаический и комбинированный (фото- и инжекционно-вольтаический) методы для создания радиотехнических элементов, узлов и устройств на основе

применения фото- и инжекционно-вольтаических эффектов, которые дают возможность стабилизации рабочих режимов радиотехнических устройств;

3. Разработаны генератор тока и напряжения, работающие в инжекционно-вольтаическом режиме, с высоким коэффициентом полезного действия, имеющие единую структуру, что позволяет повысить выходные токи микросхем и расширить их нагрузочные способности.

4. Разработан инвертор на основе комплиментарных биполярных транзисторов, работающий при рабочих напряжениях, пониженных до 0,7 В, отличающийся температурной стабильностью параметров, симметричностью передаточной характеристики и схемы логических элементов на его основе, повышающие срок службы источников питания мобильных радиоэлектронных устройств.

5. Доказано, что многозвенные гомогенные, гетерогенные составные и каскодные транзисторы обладают в 7 раз большей стабильностью по напряжению и на 3 порядка большей температурной стабильностью по сравнению с обычными составными транзисторами, а созданные усилители на их основе обладают высокой эффективностью по сравнению с существующими аналогами.

6. Показано преимущество гомогенных и каскодных фотопреобразователей с усилением, отличающихся способностью оптимизации по спектральной чувствительности и коэффициенту усиления, перед существующими аналогами широким диапазоном устойчивой работы по мощности, отдаваемой в нагрузку, напряжению коллектор-эмиттер и температуре.

7. Выявлено, что разработанный фотопреобразователь с усилением мощности на основе фото- и инжекционно-вольтаического эффектов функционирует без стабилизации тока покоя и не требует дополнительной настройки, при чем эти свойства позволяют повысить производительность усилителей мощности фотопреобразователей существующих солнечных батарей.

8. Экономический эффект от внедрения результатов диссертационной работы составил 830 млн. сум.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING DEGREES  
DSc.28.12.2017.T.07.02 AT TASHKENT UNIVERSITY  
OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**ALIMOVA NODIRA BATIRDJANOVNA**

**PRINCIPLES AND METHODS FOR CONSTRUCTING RADIO  
TECHNICAL ELEMENTS, ASSEMBLIES AND DEVICES BASED ON  
PHOTO- AND INJECTION-VOLTAIC EFFECTS**

05.04.02 – Systems and devices of radio, engineering, radio navigation, radar and television.  
Mobile, fiber optic communication systems

**ABSTRACT OF THE DOCTORAL (DSc)  
DISSERTATION OF TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent–2019**

**The theme of doctoral (DSc) dissertation was registered with the number of B2019.3.DSc/T305 the Supreme Commission of the Cabinet of Ministers of the republic of Uzbekistan.**

The dissertation has been prepared at the Tashkent university of information technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website [www.tuit.uz](http://www.tuit.uz) and on the Information and educational portal «ZiyoNet» website of [www.ziyo.net](http://www.ziyo.net).

**Scientific adviser:** **Aripov Khayrulla Kabilovich**  
doctor of physical-mathematic sciences, professor

**Official opponents:** **Radjabov Telman Dadaevich**  
doctor of physical-mathematic sciences, professor, academic

**Raximov Baxtiyorjon Nematovich**  
doctor of technical sciences

**Tashmanov Erjan Baymatovich**  
doctor of technical sciences

**Leading organization:** **Tashkent institute of railway engineering**

The defense will take place «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 at \_\_\_\_ on the meeting of Scientific council DSc.28.12.2017.T.07.02 at Tashkent university of information technologies (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: (99871) 238-64-43; fax: (99871) 238-65-52; e-mail: [tuit@tuit.uz](mailto:tuit@tuit.uz)).

The dissertation is available at the Information Recourse Centre of the Tashkent university of information technologies (is registered under № \_\_\_\_\_.) (Address: 100202, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Tel.: Тел.: (99871) 238-64-44).

Abstract of dissertation sent out on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 year.  
(mating report №\_\_ on «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 year)

**I.X. Siddikov**

Chairmen on the scientific council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

**J. X. Djumanov**

Scientific secretary of scientific council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, docent

**A. Abdukayumov**

Chairmen of academic seminar under the scientific council awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor



**The aim of the research** is to develop principles and methods for creating radio engineering elements, components and devices based on photo- and injection-voltaic effects.

**The objects of research** are electronic switching cells, controlled current and voltage generators, composite hetero- and homo-transistors, and photo converters with amplification.

**The scientific novelties of the research** is as following:

developed the principles of redundancy, identity, feedback, duality to create radio-technical elements, components and devices based on the use of photo- and injection-voltaic effects;

developed photo-voltaic, injection-voltaic and combined (photo- and injection-voltaic) methods to stabilize the operating modes of radio devices;

current and dress generators working in the injection-voltaic mode with a high efficiency and the possibility of creating them in a single structure have been developed;

the method of manufacturing logic elements based on an inverter on complementary bipolar transistors operating at operating voltages with a contact potential difference of 0.7 V is proved;

proven inverter for complementary bipolar transistors

differs in temperature stability of parameters and symmetry of the transfer characteristic;

the method of emitter self-stabilization of the collector current in multi-link homogeneous, heterogeneous composite and cascode transistors is justified;

it is proved that homogeneous and cascode gain converters are distinguished by the possibility of optimization in the range of spectral sensitivity and gain and having a wide range of stable operation in terms of power delivered to the load, collector-emitter voltage and temperature;

photoconverters with power amplification based on photo- and injection-voltaic effects have been developed that operate without stabilizing the quiescent current and do not require additional settings.

**Implementation of research result.** Based on the development of principles and methods for creating radio engineering elements, components and devices based on photo- and injection-voltaic effects:

an inverter based on complementary bipolar transistors, characterized by stability of parameters when the operating voltage and temperature change is implemented in the «Foton» JSC of «Uzeltexsanoat» Association (certificate of the Uzeltexsanoat Association dated May 31, 2019 No. 04 -4/615). The application of scientific results allowed us to develop and modernize electronic industry technologies;

an inverter based on complementary bipolar transistors operating at operating voltages lowered to 0.7 V was introduced during the development of the electronic components of laboratory complexes for electronics, microelectronics and digital technology at the «Training center» at the St. Petersburg State University of Telecommunications LLC and during the development of the

electronic components of radio engineering and optoelectronic telecommunication devices in «Broadband Solution» LLC (certificate of the Ministry for the Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan dated November 1, 2019 No. 3-8 / 7784). The use of scientific results allowed to reduce operating voltages to 0.7 V, import substitute radio engineering and telecommunication devices;

multilink homogeneous, heterogeneous and cascode composite transistors, based on the principle of duality, identity and the injection-voltaic method, which improve reliability and stability of parameters during operation, are implemented in the «Smart vision» joint venture LLC (certificate from the Ministry for the Development of Information Technologies and Communication of the Republic of Uzbekistan from November 1, 2019 No. 3-8 / 7784). The application of scientific results allowed self-stabilization of the collector current;

photo converters with signal amplification, based on the principle of duality, identity and a combination (photo- and injection-voltaic) method, which improve reliability and stability of parameters during operation, are implemented in «Smart vision» joint venture LLC (reference from the Ministry for the Development of Information Technologies and Communication of the Republic Uzbekistan dated November 1, 2019 No. 3-8 / 7784). The application of scientific results made it possible to ensure the functioning of the device without stabilizing the quiescent current and additional settings.

**The volume and structure of the dissertation.** The dissertations consist of an introduction, five chapters, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 176 pages.

**ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I бўлим (I часть, part I)**

1. Алимова Н.Б. Элементная база на основе инжекционно – вольтаического эффекта. // ТАТУ хабарлари. Ташкент, 2008. -№4. –с.82-84. (05.00.00; 31).
2. Aripov Kh.K., Alimova N.B., Bustanov Kh.Kh., Ob'edkov E.V. and Toshmatov Sh.T. Adapted Electronic Switching Cell with Power Supple from Solar Cell. // Applied Solar Energy Allerton Press, Inc. 2010, -Vol. 45, 2009. -№2. –р.9-13. (05.00.00; №1).
3. Алимова Н.Б. Исследование возможности усиления сигнала биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме. // ТАТУ хабарлари. Ташкент, 2009. - №1, –с.101-105. (05.00.00; №31).
4. Алимова Н.Б., Тошматов Ш.Т. Исследование инжекционно – вольтаических электронных переключающих ячеек цифровых схем. // ТАТУ хабарлари. Ташкент, 2009. -№2, –с.80-83, (05.00.00; №31).
5. Алимова Н.Б. Связь фото-вольтаического эффекта в солнечных элементах с инжекционно-вольтаическим эффектом в многослойных полупроводниковых структурах. // Вестник АИЭС. Алматы, 2009. -№3. –с. 43-48. (05.00.00; №3).
6. Алимова Н.Б. Исследование инжекционно-вольтаического эффекта в многослойных р-п структурах. // ТАТУ хабарлари. Ташкент, 2009. -№4. –с.84-85. (05.00.00; №31).
7. Алимова Н.Б. Управляемый генератор тока. // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2009. -№5. –с.14-17. (05.00.00; №5).
8. Алимова Н.Б. Математическая модель управляемого генератора тока. // Узбекский журнал Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2009. -№6. –с.22-25. (05.00.00; №5).
9. Aripov Kh.K., Alimova N.B., Bustanov H.H., Ob'edkov E.V. and Toshmatov Sh.T. Thermo stable Controlled Current Generator for a Solar Concentrating Unit. // Applied Solar Energy Allerton Press, Inc. 2010, -Vol. 46, 2010. -№ 2. –р.97-99. (05.00.00; №1).
10. Арипов Х.К., Алимова Н.Б. Исследование усилительных свойств биполярного транзистора в инжекционно-вольтаическом режиме. // Инфокоммуникации: Сети-Технологии-Решения. Ташкент, 2009. -№1(9). –с.22-25. (05.00.00; №2).
11. Aripov Kh.K., Alimova N.B. Low-voltage base elements of the digital schemes. // Инфокоммуникации: Сети-Технологии-Решения. Ташкент, 2013. -№3 (27). –с.12-16. (05.00.00; №2).
12. Алимова Н.Б., Холикназаров У. Управляемый генератор тока. // Ўзбекистон аграр фани хабарномаси. Ташкент, 2017. -№2 (68). –с.96-99.

(05.00.00; №18).

13. Алимова Н.Б. Сравнительные результаты фото-вольтаического эффекта в солнечных фотопреобразователях и инжекционно-вольтаического эффекта в биполярных транзисторах. // ТошДТУ хабарлари. Ташкент, 2018. –№1 (102). –с.69-74. (05.00.00; №16).

14. Алимова Н.Б., Ярмухамедов А.А. Теоретическое исследование и компьютерное моделирование составных транзисторов, выполненных из полупроводникового материала с одинаковой шириной запрещенной зоны. // Химическая технология. Контроль и управление. Ташкент, 2018. -№1-2 (79-80). –с.90-94. (05.00.00; №12).

15. Алимова Н.Б., Ярмухамедов А.А. Теоретическое исследование и компьютерное моделирование составных транзисторов, выполненных из полупроводникового материала с разной шириной запрещенной зоны. // Химическая технология. Контроль и управление. Ташкент, 2018. -№3 (81). –с.42-46. (05.00.00; №12).

16. Alimova N.B., Yarmukhamedov A.A. Теоретическое исследование и компьютерное моделирование составных транзисторов, выполненных из полупроводникового материала с одинаковой шириной запрещенной зоны. // European Journal of Technical and Natural Sciences. Vienna, 2018. -№6. –р.38-44. (Index Copernicus Value (ICV) =80,97).

17. Алимова Н.Б. Компьютерное моделирование источников стабилизированного постоянного тока. // Естественнонаучный журнал. «Точная наука». Кемерово, 2019. -№ 35. –с.14-22. ISSN 2500-1132.

18. Alimova N. B. Powerful controlled current and voltage generators. // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Indiya. April 2019. Vol. 6, Issue 4. –р.8668-8674. (05.00.00; №8).

## **II бўлим (II часть, part II)**

19. Alimova N.B. New Injection – Voltaic Effect Elementary Basis. // The 9th International Conference on Electronics, Information and Communication. – Tashkent, 2008. –р.520-523.

20. Алимова Н.Б., Джалилов Г.Г., Тошматов Ш.Т. Инжекционно-вольтаический эффект в многослойных р-п структурах. Теория и практическое применение. // Сборник тезисов II Международного научно-технического симпозиума «Новые технологии в телекоммуникациях». – Вышквив. 2009. –с.47-48.

21. Арипов Х.К., Алимова Н.Б., Бустанов Х.Х., Обьедков Е.В., Тошматов Ш.Т. Инжекционно-вольтаический режим биполярного транзистора и его применение для создания низковольтных электронных схем. // Сборник тезисов II международной конференции «Неравновесные процессы в полупроводниках и в полупроводниковых структурах». –Ташкент, 2009. –с.118-119.

22. Alimova N.B., Aripova Z.Kh., Toshmatov Sh.T. Base digital schemes on complementary bipolar transistors. // 4<sup>th</sup> International Conference on Application

of Information and Communication technologies. Tashkent, 2010. –p.241-243.

23. Алимова Н.Б. Низковольтные электронные переключающие ячейки. // Межвузовский сборник научных трудов с международным участием. –Уфа, 2011. –с.73-78.

24. Алимова Н.Б. Инжекционно-вольтаический управляемый генератор тока. // Сборник тезисов республиканской научно-методической конференции “Телекоммуникация и современные информационные технологии в отрасли связи”. Ташкент, 2011. –.132-137.

25. Алимова Н.Б., Арипов Х.К., Фазилжанов И.Р., Ярмухамедов А.А. Программа расчета ВАХ гомосоставного транзистора. // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент. Свидетельство № DGU 02380 от 15.12.2011 г.

26. Алимова Н.Б., Арипов Х.К., Фазилжанов И.Р., Ярмухамедов А.А. Программа расчета ВАХ двухкаскадного гетеросоставного транзистора по схеме Шиклаи. // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент. Свидетельство № DGU 02381 от 15.12.2011 г.

27. Алимова Н.Б., Арипов Х.К., Фазилжанов И.Р., Ярмухамедов А.А. Программа расчета ВАХ двухкаскадного гомосоставного транзистора по схеме Шиклаи. // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент. Свидетельство DGU 02382 от 15.12.2011 г.

28. Алимова Н.Б., Арипов Х.К., Фазилжанов И.Р., Ярмухамедов А.А. Программа расчета ВАХ двухкаскадного гомосоставного транзистора по схеме Дарлингтона. // Агентство по интеллектуальной собственности РУз. Ташкент. Свидетельство № DGU 02383 от 15.12.2011 г.

29. Алимова Н.Б. Элементная база на основе инжекционно-вольтаического эффекта. // Сборник докладов республиканской научно-методической конференции “Проблемы информационных технологий и телекоммуникаций”. –Ташкент, 2012. –с.94-96.

30. Алимова Н.Б. Управляемый генератор тока. // “Қишлоқ хўжалигини инновацион ривожлантиришда олий ва ўрта махсус, касб-хунар таълим муассасалари ёш олимларининг роли” мавзусидаги илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. –Тошкент, 2016. –б.251-252.

31. Алимова Н.Б., Файзуллаев Б.П. Управляемый генератор напряжения. // “Қишлоқ хўжалигини инновацион ривожлантиришда олий ва ўрта махсус, касб-хунар таълим муассасалари ёш олимларининг роли” мавзусидаги илмий-амалий анжуман материаллари тўплами. –Тошкент, 2016. –б.252-253.

32. Алимова Н.Б. Элементная база на основе инжекционно – вольтаического эффекта. // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: Сборник статей II Международной научно-практической Интернет-конференции. –Соленое Займище, 2017. –с.2044-2049.

33. Алимова Н.Б., Джумамуродов К. Управляемый генератор тока,

работающий в инжекционно-вольтаическом режиме. // Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях: материалы VIой международной научно-практической конференции. – Солёное Займище, 2017. –с.593-597.

34. Алимова Н.Б., Джумамуродов К. Управляемый генератор напряжения, работающий в инжекционно-вольтаическом режиме. // Перспективы развития науки и образования в современных экологических условиях: материалы VIой международной научно-практической конференции. – Солёное Займище, 2017. –с.597-603.

35. Alimova N.B. Low-voltage base elements of the digital schemes. // Международная научно-практическая конференция “Фундаментальные и прикладные исследования: от теории к практике”. Т.3. –Воронеж, 2018. –с.208-211.

36. Алимова Н.Б. Исследование управляемого генератор тока и напряжения, выполненных на основе биполярных транзисторов, работающих в инжекционно-вольтаическом режиме. // II Международная научно-практическая интернет-конференция «Global science and innovations 2018: Central Asia». –Астана, 2018. –с.171-176.