

Váltakozóáramú tranzisztor

Kun Ákos villamos üzemmérnök, Budapest

Bejelentés napja: 1977. 11. 03.

A találmány váltakozóáramú tranzisztor egy olyan bipoláris jellegű félvezetőelem, mely szimmetrikus rétegszerkezete által alkalmas váltakozó villamos mennyiségek folyamatos jelalaktorzulás nélküli szabályozására, és nagyhatásfoku kapcsolására.

A rendkívül gyors ütemben fejlődő elektronika a fokozódó igények kielégítésére egyre újabb és újabb félvezetőelemeket hív életre. Ezt a gyors fejlődési folyamatot szinte sarkallja az a jelenség, hogy más iparágakkal szemben az elektronikai iparban a felhasználói igény mindig jóval magasabb, mint amit az éppen alkalmazott technológia ki tud elégíteni. Az egyenfeszültségi rendszerekben használatos különféle típusú tranzisztorok kifejlesztése és tömeges alkalmazása után az igény a félvezetőalapú váltakozóáramú szabályozó és kapcsolóelemek felé fordult. Ennek a fejlesztési folyamatnak az első terméke a négyrétegű dióda volt / 1. ábra /, amelyet azután gyors ütemben következtek az erre ráépülő összetettebb típusok: kétirányú tirisztordióda / diac /, katódvezérlésű tirisztor, anódvezérlésű tirisztor, lavinatirisztor, fényaktivált tirisztor, kétirányú tirisztortrióda / triac /, vezérlőelektródával lezárható tirisztordióda, tirisztortetrióda, és egyéb más még fejlesztési stádiumban lévő kiforratlan típusok. Alapjelle-

güknél fogva ezeknek a különböző típusu többrétegű diódáknak a működési elve nem hasonlítható a tranzisztorok működési mechanizmusához, ezért szabályozó elemként való alkalmazásuk is merőben más áramkörüi kialakításokat igényel, mint amit a tranzisztorteknikában megszoktunk. Alapvető eltérés a két félvezetőelem között abban mutatkozik, hogy amíg a tranzisztorok áteresztőképessége lezárt állapottól telítésig fokozatosan szabályozható, addig ezek a többrétegű diódák a hagyományos diódákhoz hasonlóan csak két állapotot vehetnek fel, vagy teljesen lezárnak, vagy teljesen kinyitnak. Ez az alapvető működésbeli különbség hozta azután szükségszerűen létre a többrétegű diódatechnikában alkalmazott eltérő áramkörüi kialakításokat. Ezeknek a speciális áramköröknek a fő egysége a vezérlőegység, amely lehetővé teszi, hogy a kétállapotú többrétegű diódák ne csak vezérelhető kapcsolóelemként, hanem szabályozóelemként is felhasználhatók legyenek. Mivel a többrétegű diódák bármilyen áramkörben változatlanul megtartják dióda jellegüket, ezért vezérlésükhöz olyan speciális áramköröket kellett kifejleszteni, amelyek a többrétegű diódán átfolyó villamos mennyiségnek nem az amplitúdóját, hanem a folyási szögét befolyásolják. Váltakozóáramú körökben tehát ezeknek a periódusonként változó villamos mennyiségeknek folyamatos szabályozása úgy jön létre, hogy a vezérlőegység a többrétegű diódát a rajta átáramló villamos mennyiség csak egy meghatározott fázisában kapcsolja be, és az így kettéhasított fázisok periódusonként való összegeződése, effektív értéke, hozza végül létre az új leszabályozott villamos mennyiséget.

Váltakozóáram folyamatos szabályozása a legegyszerűbb módon egyirányú tirisztordiódával oldható meg, melynek egy lehetséges módja a 2. ábrán látható, maximálisan 5 A terhelhetőségű 0-220 V-ig folyamatosan szabályozható kivitelben. Mint az ábra alatti jelleggörbék is mutatják az áramkörben alkalmazott egyszerű katódvezérlésű tirisztor a váltakozó

áram szabályozását két lépcsőben hajtja végre, először egy egyenirányító egység a váltakozó feszültséget lüktető egyenfeszültséggé alakítja át, majd miután a tirisztorban megtörtént a fázishasításos szabályozás, az egyenirányító egység az új leszabályozott villamos mennyiséget ismét visszalakítja váltakozó mennyiséggé. Ennél az áttételes szabályozásnál jóval egyszerűbb lehetőséget nyújt a tirisztordiódák továbbfejlesztésével létrehozott tirisztortriádák, vagy triakok alkalmazása, melyek szükségtelenné teszik a váltakozó feszültség lüktető egyenfeszültséggé való átalakítását, mivel ezek a szabályozóelemek összetett rétegszerkezetüknel fogva mindkét irányú igénybevételre alkalmasak.

Annak ellenére, hogy a többrétegű szabályozódiódás technika egyre nagyobb teret hódít, több olyan hátrányos tulajdonsága is van, amely lassítja az elterjedési folyamatát. Ezek közé a hátrányos tulajdonságok közé tartozik a túlfeszültségekkel és túláramokkal szembeni rendkívüli érzékenyséjük, mely nem elég körültekintő használat esetén könnyen a tönkremenetelükhöz vezet. Hozzájárul ehhez az érzékenységhöz még a bonyolult rétegszerkezetük is, mely ezen túlmenően más félvezetőelemekhez viszonyítva előállítási költségüket is jelentősen megnöveli. Mindezen hátrányos tulajdonságukat eredményesen kiküszöböli a találmány váltakozóáramú tranzisztor, mely lineáris üzemi használat esetén a többrétegű diódákkal ellentétben bonyolult vezérlő áramköröket sem igényel, s mivel nem fázishasításos, hanem amplitudócsökkentés módszerrel szabályoz, ezért ebben az üzemmódban tranziens feszültségcsúcsoktól mentes jelalaktorzulás nélküli feszültséget szolgáltat. Mivel a váltakozóáramú tranzisztor rétegszerkezete fizikai működését tekintve megegyezik a hagyományos tranzisztorok rétegszerkezetével, ezért tekintsük át előbb az egyenáramú körökben általánosan használt bipoláris rétegtranzisztorok működési mechanizmusát.

Helyezzük a 3. ábrán látható pnp típusú rétegtranzisztort külső nyitóirányú feszültség alá. Mivel nyitóirányú előfeszí-

tés esetén bármely bipoláris rétegtranzisztor emitter-bázis rétege nyitóirányban, kollektor-bázis rétege pedig záróirányban van igénybevéve, ezért ennek alapján a rétegtranzisztor szerkezete két részre bontható. Az első egység a nyitóirányban igénybevett bázis-emitter réteg, mely működését tekintve egy aszimmetrikus szennyezésű diódának tekinthető. Ennek az aszimmetrikus szennyezésnek a tranzisztorhatás szempontjából rendkívül nagy jelentősége van, ezért előbb vizsgáljuk meg a hagyományos félvezetődiódák rétegszerkezetét.

Mint ismeretes, feszültségmentes állapotban bármely dióda két eltérő töltéshordozóju félvezetőrétege között egy kölcsönös kiegyenlítődési folyamat indul el, melynek hatására a határréteg semlegessége megszűnik " p " oldala negatív " n " oldala pedig pozitív potenciálra kerül. Mivel ez a diffúziós folyamat önmagát korlátozza, ezért egy idő után létrejön az egyensúly a két réteg többségi töltéshordozói között, miközben a határrétegben kialakul a diffúziós feszültség. Amennyiben a két réteg kisebbségi és többségi töltéshordozóinak a koncentrációkülönbsége megegyezik, a határrétegben szimmetrikus diffúzió alakul ki, vagyis a diffúziós feszültség egyenlő arányban oszlik meg a két eltérő töltésű, de egyenlő koncentrációsintű félvezetőréteg között. Eltérő koncentrációsint esetén, tehát amikor az egyik réteg kisebbségi és többségi töltéshordozóinak a koncentrációkülönbsége alacsonyabb, a határrétegben eltolódott aszimmetrikus diffúzió jön létre, mely azt jelenti, hogy a diffúzió hatására a határrétegben létrejövő kiürített réteg olymértékben tolódik át az alacsonyabb koncentrációsintű rétegbe, amilyen mértékű az eltérés a két réteg koncentrációsintje között.

Feltételezve a két réteg szimmetrikus szennyezettségét, helyezzük most a diódát nulláig leszabályozható külső nyitóirányu feszültség alá. A külső feszültség fokozatos növelé-

sével a dióda ismert nyitóirányu karakterisztikájának megfelelően egy bizonyos feszültség szint felett a két félvezetőréteg között megindul az áramvezetés. Ez a feszültség szint az úgynevezett küszöbfeszültség, amely legyőzve a diffúziós feszültség által a határrétegben létrehozott potenciálfalat, lehetővé teszi a töltéshordozók egymásba való fokozatos átdiffundálását. A külső feszültség növelésével egyre fokozódó mértékben nő a határrétegen átáramló töltéshordozók száma, és ezzel a dióda nyitóárama. A nyitóirányu feszültség további növelésével, amennyiben ennek a rohamos töltéshordozóáramlásnak nem vetünk gátat, a két félvezetőréteg között a dióda tönkremenetelét jelentő hőátütés jön létre. A hőátütés elkerülése érdekében tehát a nyitóirányu áram útjába egy soros ellenállást kell iktatnunk, mely gondoskodik a töltéshordozóáramlás megfelelő szint tartásáról. Vizsgáljuk most meg, mi történik a diódában akkor, ha a két félvezetőréteg koncentrációsintje nem egyezik meg. Mint az előzőekből kiderült, ebben az esetben a határrétegben egy aszimmetrikus diffúziós erőter jön létre, mely oly mértékben tolódik át az alacsonyabb koncentrációsintű rétegbe, amilyen mértékű a két réteg szennyezettsége közötti különbség.

Visszatérve most a 3/a ábrán látható szintén aszimmetrikus szennyezésű emitter-bázis réteghez, a külső nyitóirányu feszültség hatására itt is létrejön a diódahatás, de az előzőekhez viszonyítva egy kissé eltérő módon. Ebben az esetben ugyanis az emitter réteg többségi töltéshordozóinak az eltolódott diffúziós erőter miatt a bázisréteg töltéshordozóihoz képest jóval kisebb akadályt kell legyőzniük ahhoz, hogy a határrétegben rekombináldhassanak a bázisréteg negatív töltéshordozóival. A bázisréteg amugyis kis számú töltéshordozóinak ugyanis ahhoz, hogy át tudjanak jutni a határrétegbe, le kell győzniük a bázisrétegbe áttolódott számukra igen nagy diffúziós feszültséget, s csak utána tudnak rekombináldni a határrétegbe beáramlott emitter többségi töltéshordozók-

kal. Ezeknek az aszimmetrikus viszonyoknak megfelelően a két félvezetőréteg között tehát csak egy eltérő mértékű áramlás indulhat meg, amely azt eredményezi hogy az emitter többségi töltéshordozók által létrehozott emitteráram jóval nagyobb lesz, mint a bázisréteg többségi töltéshordozói által létrehozott bázisáram. A tranzisztor szempontjából ez azt jelenti, hogy az emitterből kiinduló nagy számú többségi töltéshordozóknak a gyér számú bázisréteg töltéshordozók miatt csak egy igen kis hányada tud a határrétegben rekombinálódni, tulnyomórésze a kiürített réteg szélén marad felhalmozódva. Ezek a kis számú rekombinálódott töltéshordozók, a bázisrétegből kifolyva alkotják a tranzisztor bázisáramát. Mielőtt a kiürített réteg előtt felhalmozódott rekombinálódásra váró emitter többségi töltéshordozók további sorsát végigkísérnénk, vizsgáljuk meg, hogy mi megy végbe a kollektorrétegben.

Mint az előzőekből kiderül, feszültségmentes állapotban két félvezetőréteg között egy kölcsönös kiegyenlítődéssel járó diffúziós folyamat indul el. Ez a folyamat azonban nemcsak két eltérő töltéshordozóju félvezetőréteg, hanem jelen esetben a " p " típusu kollektor félvezetőréteg és a fémes tehát " n " típusu kollektorfeigyverzet között is létrejön. A kollektorfeigyverzet koncentráció szintje azonban fémes vezetőről lévén szó szinte végtelen a kollektor félvezetőréteg koncentrációsintjéhez képest, ami a határrétegben egy erősen eltolódott aszimmetrikus diffúziós erőteret hoz létre. Ez a diffúziós erőter szinte teljes mértékben kiszippantja a kollektorrétegből a többségi töltéshordozókat, és ezáltal a kollektor félvezetőréteg diffúziós erőtéren kívüli területe elektromosan semleges állapotba kerül. A fém- félvezető egység külső záróirányu feszültségre való kapcsolása esetén a nyugalmi diffúziós feszültség a félvezetőknél ismert módon jelentősen megnő. Mivel a megnövekedett diffúziós feszültség hatására a határréteg diffúziós erőtere is lekes-

kenyedik , ezért a külső feszültség növelésével az átszurás mint átütési lehetőség a rétegtranzisztorokra nézve nem jelent veszélyt. Ez azonban nem érinti a téremisszió által elindított lavinahatást, ami túl nagy külső feszültség esetén a rétegtranzisztort is tönkretelheti.

Az előzőekhez viszonyítva egy kissé eltérő a helyzet abban az esetben, ha a kollektor fémfegyverzethez nem " p " hanem " n " típusu félvezetőréteg csatlakozik / npn típusu tranzisztor. / Mivel feszültségmentes állapotban a jelenleg egynemű többségi töltéshordozók miatt a kollektor határrétegben nem alakul ki spontán diffúzió, ezért npn típusu tranzisztorok esetén a záró irányu diffúzióhoz szükséges ellentétes potenciálszintű réteget a külső feszültség hozza létre, ugyanis egy fémes vezető mind negatív, mind pozitív potenciálra-pozitív potenciálra látszólagosan elektronkiáramlás formájában- igen nagy koncentrációsinttel képes feltöltődni. Mivel a kollektor határrétegben a záróirányu feszültség által létrehozott igen erős diffúziós feszültség az emitterből kiinduló többségi töltéshordozókra nézve mindig ellentétes potenciálszintű, ezért ez az előre-tölt diffúziós erőter oly erős szívóhatást fejt ki a bázis-emitter kiűritett rétegben felhalmozódott és ott rekombinálódni nem tudó emitter többségi töltéshordozókra, hogy azok átlépve a bázis-kollektor határréteget igen nagy sebességgel záródnak a kollektorfégyverzeten. A többségi töltéshordozóknak ezt a gyors emitter-kollektor irányu áramlását elősegíti még az az előzőekben említett jelenség is, hogy a diffúziós egyensúly létrejötte után a töltéstartományon kívüli területek elektromosan semleges állapotba kerülnek, tehát a jelen esetben az emitter töltéshordozóknak nem kell leküzdeniük a kollektor félvezetőréteg hasonló töltésű többségi töltéshordozóinak a taszító hatását. A bipoláris rétegtranzisztor működését tekintve tehát ugy fogható fel mint egy aszimmetrikus szennyezésű dióda kiegészítve egy fém-

félvezető kontaktussal.

Térjünk most ismét vissza a 3/a ábrán látható nyitóírányba előfeszített pnp-típusú tranzisztor bázis-emitter rétegszerkezetéhez. Az előzőek alapján miután a nyitóírányu feszültség elérte a bázis-emitter küszöbfeszültséget, a tranzisztorban megindul a fő és mellékírányu töltéshordozók áramlása. Növeljük most fokozatosan U_{EB} értékét egészen a tápfeszültség értékéig. A nyitóírányu feszültség fokozatos növelésével a diódák ismert nyitóírányu karakterisztikájának és a tranzisztorok kimeneti jelleggörbéjének megfelelően rohamosan nő mind a mellék, mind a főírányu töltéshordozók áramlása. A tranzisztorhatásnak ez a nagymértékű fokozódását fizikailag az hozza létre, hogy a záróírányu igénybevétellel ellentétben a nyitóírányu feszültség a félvezetőrétegek között kialakult diffúziós feszültséget fokozatosan csökkenti. Jelen esetben az emitter-bázis réteg diffúziós feszültségének csökkenésével tehát egyre alacsonyabbá válik a két réteget elválasztó potenciálfal, és egyre kisebb energia szükséges ahhoz, hogy a határréteg két szélén felgyülemlött töltéshordozók a kiürített rétegben rekombináldhassanak egymással. A megnövekedett töltéshordozóáramlás a tranzisztorban a különböző veszteségek miatt fokozódó hatásfokcsökkenést hoz ugyan létre, melynek hatására a kimeneti karakterisztika ideálisnak vélt jelleggörbéje egy idő után linearizálódik, ez azonban alapjában véve nem bontja fel a kisebbségi és többségi töltéshordozók arányát. Ez a kedvező arány, mely szerint a főírányu töltéshordozóáramlás fenntartásához csak egy a tranzisztor áramerősítési tényezőjétől függő töredék vezérlőáram szükséges, egészen addig megmarad, amíg a nyitóírányu feszültség növelésével a tranzisztor telítésbe nem kerül. Az U_{EB} feszültség tovább növelésével fokozatosan megszűnik a tranzisztorhatás, s ismét előtérbe kerül a bázis-emitter rétegszerkezet diódaként betöltött szerepe.

Csökkentsük most le a tápfeszültséget az emitter-bázis rétegekre megengedett maximális záróirányu feszültség értékéig. Ezután az előzőekben leírtak szerint növeljük ismét T_1 bázis-emitter nyitófeszültségét a teljes tápfeszültségig. Fizikai működését tekintve tranzisztorunk a telítődési ponttól kezdve vezérelhető erősítő elemből fokozatosan átalakul kisteljesítményű aszimmetrikus diódává. Az emitter rétegből kiinduló többségi töltéshordozók a kollektor munkaellenállás helyett egyre nagyobb számban választják a kisebb ellenállású utat, és igyekeznek az erősebb potenciálszintű bázisfegyverzeten záródni. A továbbiakban tranzisztorunknak erre a működési tartományára az egyenirányító diódák működési mechanizmusa érvényes, és az R_b bázisáramkorlátozó ellenállás a tranzisztor vezérlőáramszabályozása helyett fokozatosan átveszi az emitter-bázis dióda munkaellenállásának a szerepét.

Mérjük most végig az első működési tartományt, tehát a nyitástól a telítődésig tartó szakaszt. A nyitóirányu U_{EB} feszültség fokozatos növelésével az előzőekben már részletesen leírt tranzisztorhatás jön létre, tehát egy minimális bázisáramszükséglettel megindul a többségi töltéshordozók emitter-kollektor irányu áramlása. Végezetül hidalguk át a bázis és kollektor elektródát tehát kössük a bázisfegyverzetet közvetlenül a kollektor fegyverzetre. Az előzőekhez viszonyítva áramlástanilag semmi változást nem tapasztalunk, tranzisztorunk változatlanul telített állapotban marad, kapcsolástechnikailag úgy viselkedik, mint egy teljesítményében megnövelt aszimmetrikus dióda. Fizikai paramétereit tekintve, ez az aszimmetrikus dióda teljes azonosságot mutat a tranzisztor bázis-emitter rétegei által képviselt dióda tulajdonságaival, azzal a különbséggel, hogy a kollektor félvezetőréteg teljesítőképesége átranzponálódik a jóval kisebb teljesítményű bázisrétegbe. Mivel ennek az átranzponálódásnak a mértéke az R_b ellenállás segítségével szabályozható, ezért ebben a sajátos üzemmódban a tranzisztorunk

ugy viselkedik mint egy változtatható áteresztőképességű nagyteljesítményű dióda. / 3/b ábra./ A tápfeszültségpolaritás megfordítása esetén a főirányu töltéshordozóáramlás leáll, s mivel a tápfeszültség értéke a jelen esetben nem volt nagyobb, mint a bázis-emitter rétegek maximális záróirányu feszültség-tűrése, ezért a tranzisztorban ellenkező irányu lavinahatáson alapuló töltéshordozóáramlás sem képes kialakulni.

Tulajdonképpen ezen a részletesen ismertetett elven alapul a találmány váltakozóáramu tranzisztor működési mechanizmusa. Mivel a hagyományos tranzisztorok egyenfeszültségű áramkörökben nemcsak normál, hanem kisebb hatásfokkal ugyan, de inverz üzemmódban is alkalmazhatók, ezért a fizikai működés szempontjából semmi akadálya annak, hogy tranzisztorunkat váltakozóáramu igénybevételnek is kitegyük, ugyanis a váltakozóáramu igénybevétel tulajdonképpen nem más, mint egy periódikusan ismétlődő normál és inverz irányu igénybevétel. Ahhoz azonban, hogy a 3/b ábrán látható folyamatosan szabályozható teljesítménydióda ne csak egyen, hanem váltakozóáramu körökben is megállja a helyét, a rétegszerkezetét előbb szimmetrikussá kell tenni. Erre azért van szükség, mert a váltakozóáramnak lényegéből fakadóan nincs meghatározott polaritása, ezért a váltakozóáramu tranzisztor mind az emitter, mind a kollektor oldalról egyformán igénybevehető kell hogy legyen. E lényeges feltétel hiánya miatt a hagyományos tranzisztorok váltakozóáramu szabályozásra csak egyutas kapcsolásban alkalmazhatók, kétoldali igénybevétel esetén ugyanis a normál és inverz irányu hatásfok közötti igen nagy különbség miatt erős jelalaktorzulással kell számolnunk. Korlátozza még felhasználási területüket a kis záróirányu emitter-bázis feszültségük is, mely gyakorlatilag 5-7 V-nál nagyobb feszültségű áramkörökben használatukat nem teszi lehetővé. A találmány váltakozóáramu tranzisztor, vagy röviden AC-tranzisztor szerkezeti kialakításának tehát legfontosabb feltétele, hogy a kollektor és az emitterréteg szennyezésének mértéke a szimmetria érdekében egyforma legyen. Ennek a feltételnek a teljesítése

technológiailag nem okoz különösebb problémát, annak érdekében azonban, hogy az AC tranzisztor magasabb feszültségekre is igénybevehető legyen, mindkét oldalon jelentősen meg kell növelni a záróirányu feszültséget. Ez az igény viszont ellentmond a félvezetőknél kívánatos minél kisebb nyitóirányu ellenállásnak és ezáltal a jó hatásfoknak, ugyanis a szennyezés mértékének növelésével arányosan csökken az átmenetek záróirányu feszültségtűrése. Ennek a problémának a kiküszöbölésére az AC tranzisztor előállításánál a psn diódákhoz hasonló epitaxiális rétegtechnológiát kell alkalmaznunk, melynek lényege hogy az erősen szennyezett rétegek és a vezérlő rétegek közé epitaxiális technológiával egy vékony, az erősen szennyezett réteghez hasonló kristályorientációju, de gyengén szennyezett réteget kell felvinni. Ezek a gyengén szennyezett rétegek biztosítják azután a vezérlőréteg felé a megfelelő átütési feszültséget. Mivel a váltakozóáramu tranzisztor, vagy rövidítve ACT az R1-R2 -es ellenállás segítségével mindkét irányból igénybevehető, és a két főelektróda a szimmetria miatt tetszés szerint felcserélhető, ezért a jelen esetben értelmetlen tovább emitter és kollektor rétegekről beszélni, ezért a továbbiakban nevezzük ezeket a rétegeket munkarétegeknek. Az ACT áteresztőképessége az előzőekben vázolt egyenfeszültségű szabályozható diódákhoz hasonlóan az R1 és R2 ellenállásokkal folyamatosan vezérelhető 4/a ábra. Maximális áteresztőképességét nulla vezérlő ellenállás értéknél veszi fel, tehát akkor, ha a vezérlőelektródát valamelyik munkaelektródához zárjuk. Mivel a találmány váltakozóáramu tranzisztor vezérlőáramszükséglete a hagyományos tranzisztorokhoz hasonlóan itt is a munkaáram és az áramerősítési tényező hányadosa, ezért a vezérlőáramot létrehozó vezérlőfeszültség fokozatos csökkentésével az ACT is fokozatosan lezár. Nulla azaz szakadt állapotát akkor veszi fel, ha a vezérlőfeszültség az éppen nyitóirányba igénybevett vezérlő-munkaréteg küszöbfeszültsége alá csökken.

Mivel a váltakozóáramu tranzisztor záróirányu vezérlő és munkaréteg feszültségei teljesen szimmetrikusak, értékük pedig nem lehet kisebb, mint a szabályozandó váltakozó feszültség maximuma, ezért az ACT a hagyományos többrétegű diódákhoz hasonlóan előnyösen alkalmazható nagyteljesítményű váltakozóáramu kapcsolóelemként is. Vezérlése azonban nemcsak váltakozóáramu hálózatról, hanem egy kisteljesítményű galvanikusan leválasztó AC-tranzisztor segítségével, egyenfeszültségről is megoldható. A gyors vezérelhetőséget még megkönnyíti az a tény is, hogy amíg a hagyományos tirisztorok begyújtás után csak a főáramkör megszakításával voltak kikapcsolhatók, addig az ACT a váltakozó feszültség bármely fázisában a vezérlőáramkör egyszerű megbontásával kikapcsolható. Mint a 4/a ábra idődiagramjain is látható, az AC-tranzisztor ebben a formában a váltakozó feszültségnek egyszerre csak egyik félperiódusát képes átengedni és szabályozni, ezért ebben az összeállításban ahhoz, hogy mindkét félperiódust szabályozhassuk, kiegészítésképpen egy a 2. ábrán látható Graetz egyenirányító egységet kell alkalmaznunk. Graetz egyenirányító nélkül is megoldható a találmány ACT-vel mindkét félperiódus szabályozása, ebben az esetben azonban egy viszonylag bonyolult vezérlőegységet kell alkalmaznunk, melynek gondoskodnia kell arról, hogy a vezérlőelektróda a váltakozófeszültség frekvenciájának megfelelően hol az egyik, hol a másik munkaelektródához legyen kapcsolva.

Mivel a találmány váltakozóáramu tranzisztor R1 és R2-es ellenállásai segítségével tulajdonképpen önmagát vezérli, ezért a többrétegű diódáktól eltérően az AC-tranzisztornak nincs szüksége költséges vezérlőáramkörre, s mint a 4/a ábrán is látható, nem fázishasításos, hanem amplitudócsökkentés elven szabályoz, ezért ebben az üzemmódban elhagyhatók a többrétegű diódatechnikában kényszerűen alkalmazott költséges R-L-C szűrőelemek is. Az ACT azonban nemcsak npn hanem pnp kivitelben is előállítható / 5/b ábra/. Az 5/a és 5/b ábrák mindkét változat áramköri ábrázolásához ajánlott célszerű

szimbólumjelöléseket is tartalmazzák.

A találmány váltakozóáramu tranzisztor a kétirányú tirisztor-triódákhoz hasonlóan nemcsak lüktető egyenfeszültség, hanem periódikusan váltakozó feszültség folyamatos szabályozására is alkalmas./4/b ábra /, Ennek a tulajdonképpen két AC tranzisztorból álló összetett rétegszerkezetű szabályozóelemnek a triachoz viszonyítva szintén az az előnye, hogy önmagát automatikusan vezérli, s mivel az amplitudócsökkentés szabályozás az áramkörben nem hoz létre jelalaktorzulást, ezért a 4/b ábrán látható kapcsolás egy folyamatosan szabályozható elektronikus transzformátornak is tekinthető. Az átviteli jelleggörbe nulla vonalán látható kis feszültséglépcsőt az ACT küszöbfeszültsége hozza létre, értéke maximálisan 1 V. Az elektronikus transzformátor alapkapcsolásai és célszerű szimbólumjelölései a 6. ábrán láthatók. A komplementer váltakozóáramu tranzisztor / C-ACT / előállítási technológiája bonyolultabb és költségesebb ugyan, mint az ekvivalens változaté /E-ACT /, viszont érdekessége, hogy folyamatos szabályozása az ekvivalens tranzisztorokkal szemben nemcsak két - tős, / tandem / potencióméterrel, hanem a két vezérlőelektróda közé kötött egyszerű változtatható ellenállással is megoldható. Az egyszerűségeen kívül nagy előnye még ennek a szabályozási módszernek, hogy az előzőekhez viszonyítva jóval kisebb a vezérlőenergia igénye.

Az összetett rétegszerkezetű AC-tranzisztorok megfelelő kialakítás esetén eredményesen felhasználhatók váltakozóáramú tápegységek / transzformátorok/feszültségstabilizálására is.

A találmány váltakozóáramú tranzisztor azonban nemcsak periódikusan váltakozó mennyiségek szabályozására alkalmas, hanem jól felhasználható szabályozható egyenirányító elemként is. Ennek alapján a 7. ábrán egy olyan elektronikus transzformáló és egyenirányító kapcsolás látható, mely közvetlen hálózatról nemcsak leszabályozott, hanem egyuttal már két-üteműen egyenirányított feszültséget szolgáltat. Ez az áramkör az egytokozású Graetz-kockákhoz hasonlóan - maximális váltakozó bemenőfeszültségre és maximális kimeneti áramra specifikálva - zárt hatpólusú elemként is legyártható. Ha az áramkör külső R1-R2 ellenállásait egy-egy kis teljesítményű AC tranzisztorral helyettesítjük, és ezeknek a tranzisztoroknak a szabályozó elektródáját a kimeneti körben elhelyezett egyszerű feszültségfigyelő áramkörrel vezéreljük, akkor a találmány váltakozóáramú tranzisztor segítségével létrehozott elektronikus transzformáló és egyenirányító kapcsolás könnyen átalakítható egyenfeszültségű stabilizátorrá is. Mivel a 7. ábrán látható kapcsolás a teljesen elektronikus kivitel miatt a galvanikus leválasztás szerepét nem tudja ellátni, ezért alkalmazásánál ügyelnünk kell a megfelelő fázishelyzetű bekötésre. Ez a probléma a hálózati csatlakozó dugó megfordíthatósága miatt főleg hordozható készülékeknél jelent gondot, megfelelő külső szigetelés alkalmazása esetén azonban csak szervizeléskor kell a megfelelő fázishelyzetű csatlakoztatásról gondoskodnunk. Ipari berendezéseknél a galvanikus leválasztás hiánya nem okoz problémát, fix telepítés esetén ugyanis a fázis-nulla helyzet egyértelműen meghatározható. Mivel a találmány elektronikus transzformáló és egyenirányító kapcsolás a 7. ábrán pozitív kimenőfeszültséggel került bemutatásra, ezért az előbbiekkal összhangban negatív kimenőfeszültség igénye esetén az érintésvédelem miatt az áramkör elemeit át kell forgatni.

A találmány váltakozóáramú tranzisztor annál nagyobb hatásfoku, minél kisebb a bemenő és kimenőfeszültség értéke közötti

különbség. Az áttétel növekedésével ugyanis arányosan nő az ACT hővesztesége, amely lineáris üzemmódban, erős leszabályozás esetén már nem teszi használatukat gazdaságossá. Emiatt körülbelül 60-70 %-os hatásfok alatt a lineáris vezérlésről át kell térnünk a többrétegű diódáknál alkalmazott kapcsolóüzemi vezérlésre, mely a továbbiakban a bevezetőben már említett fázishasításos szabályozás elvén nagy áttétel esetén is biztosítja a találmány váltakozóáramú tranzisztor megfelelő hatásfoku alkalmazhatóságát. Mivel az ACT ebben az üzemmódban egy $0 - 180^\circ$ -os késleltető áramkör segítségével szintén önmagát vezérli, ezért vezérlőáramkör kialakítása a többrétegű diódatechnikában alkalmazott impulzusüzemi vezérlőáramköröknél egyszerűbben megoldható.

A célszerűen szilícium alapanyagú AC tranzisztorok gyártása során a szimmetrikus kivitel miatt némi módosításra van ugyan szükség, de gyártástechnológiája alapjában véve megegyezik a hagyományos epitaxiális -planár technológiával. Ennek a félvezetőtechnológiának a segítségével az ACT az igényeknek megfelelően különböző zárófeszültségre és munkaáramra specifikálva mind kis, mind pedig nagyteljesítményű változatban előállítható.

Szabadalmi igénypontok:

- 1./ Váltakozóáramú tranzisztor azzal jellemezve, hogy bipoláris jellegű szimmetrikus rétegszerkezete / 1 / és célszerű szimbólumjelölése / 2 / van.
- 2./ Az 1. igénypontban meghatározott váltakozóáramú tranzisztor 5/a ábra szerinti kiviteli alakja, azzal jellemezve, hogy npn-típusú szimmetrikus rétegszerkezete / 1 / és célszerű szimbólumjelölése / 2 / van.

- 3./ Az 1. igénypontban meghatározott váltakozóáramu tranzisztor 5/b ábra szerinti kiviteli alakja, azzal jellemezve, hogy pnp-típusú szimmetrikus rétegszerkezete / 1 / és célszerű szimbólumjelölése / 2 / van.
- 4./ A 2. igénypontban meghatározott váltakozóáramu tranzisztor 6/a ábra szerinti kiviteli alakja, azzal jellemezve, hogy npn típusú összetett rétegszerkezete / 1 / és célszerű szimbólumjelölése / 2 / van.
- 5./ A 3. igénypontban meghatározott váltakozóáramu tranzisztor 6/b ábra szerinti kiviteli alakja, azzal jellemezve, hogy pnp típusú összetett rétegszerkezete / 1 / és célszerű szimbólumjelölése / 2 / van.
- 6./ A 2. és 3. igénypontokban meghatározott váltakozóáramu tranzisztor 6/c ábra szerinti kiviteli alakja, azzal jellemezve, hogy komplementer típusú összetett rétegszerkezete / 1 / és célszerű szimbólumjelölése / 2 / van.
- 7./ A 2-3 igénypontokban meghatározott váltakozóáramu tranzisztorok szabályozható egyenirányító dióda alakja, melyre jellemző hogy R1-R2 ellenállása / 3 / - / 4 / segítségével alkalmas váltakozó feszültség egyutas egyenirányítására és az egyenirányított feszültség jelalaktorzulás nélküli szabályozására.
- 8./ A 7. igénypontban meghatározott szabályozható egyenirányító diódák szabályozható egyenirányító kapcsolás alakja, melyre jellemző hogy pnp és npn típusú szabályozható egyenirányító diódája / 5 / - / 6 / és D1 - D2 diódája / 7 / - / 8 / segítségével alkalmas váltakozó feszültség kétutas egyenirányítására, és az egyenirányított feszültség jelalaktorzulás nélküli szabályozására.

- 9./ A 4-5-6 igénypontokban meghatározott váltakozóáramu tranzisztorok elektronikus transzformátor alakja, melyre jellemző, hogy $R_1 - R_2$ ellenállása / 3 / - / 4 / segítségével alkalmas váltakozó feszültség jelalaktorzulás nélküli szabályozására.


.....
Kun Ákos

K i v o n a t

A találmány váltakozóáramu tranzisztor egy olyan bipoláris jellegű félvezetőelem, mely alkalmas váltakozó villamos mennyiségek folyamatos jelalaktorzulás nélküli szabályozására, és nagyhatásfoku kapcsolására. Az AC tranzisztor egyszerű rétegszerkezetéből adódóan mentes a többrétegű diódatechnikában használatos tirisztorok, triakok összes hátrányától. A találmány váltakozóáramu tranzisztor speciális tulajdonságainál fogva szabályozható egyenirányító diódként és elektronikus transzformátorként is felhasználható.