

RH és URH teljesítményerősítők tranzisztorokkal

2.

Ijjas Gábor—Molnár Béla
okl. vill. mérnökök, BME MHT



a RÁDIÓTECHNIKA rövidhullámú tanfolyama

5. Emitter-geometriák

Az előző fejezetben már bemutatuk, hogy rendkívül fontos a nagy emitterkerület—terület arány biztosítása. Ezt a feladatot különböző emitter-konstrukciókkal igyekeztek és igyekeznek elérni. Mi csak a napjainkban leggyakoribb két geometriát mutatjuk be: az „interdigitális”-t és „overlay”-t. A két geometriát az 5.1. ábra mutatja.

Az ábra a fémzés felől nézve mutatja a két tranzisztort. Az A—A metszeteket a 4.1. ábrán láthattuk.

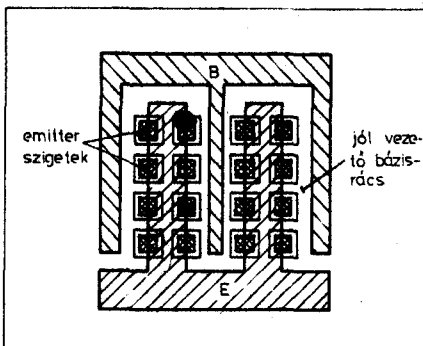
Az interdigitális geometria esetén a bázis és az emitter fésűszerfen nyúlik egymásba.

Az overlay geometriánál az emitter sok különálló „emitterszigetből” áll, amelyeket az emitterfémzés a bázisréteg felett haladva köt össze (overlay = beborítás). Természetesen az emitterfémzést oxidréteggel elválasztják a bázisartománytól. Az ábrán a bázis- és emitterfémzést átlátszóan rajzoltuk az áttekinthetőség érdekében.

A most bemutatott overlay típuson kívül más módosított változat is létezik, pl. az 5.2. ábra egy olyan konstrukciót mutat, ahol a négyzet alakú emitterszigetek minden második sorát egy széles fémzés köti össze. Így a bázisrácsnak csak minden második sora van közvetlen kapcsolatban a bázisfémzéssel.

6. Tokozás

Kis teljesítményű, kisfrekvenciás eszközöknél a tokozás elsődleges cél-



5.2. ábra

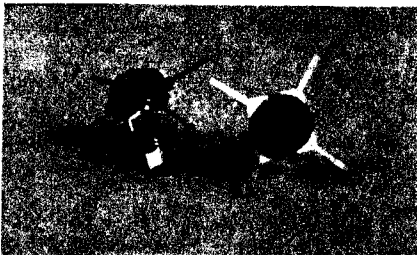
ja az áramköri csatlakozási lehetőség biztosítása és a környezet káros hatásai elleni védelem.

Teljesítmény eszközöknél ezenkívül a disszipált hő elvezetésére kis hőellenállást kell biztosítani. Nagyfrekvencián tovább bonyolódik a helyzet, mivel a tokozás parazita eleminek hatásai nem hanyagolhatók el, mert jelentősen csökkenthetik a tranzisztorból kivehető teljesítményt és az erősítést. Különösen döntő az emitterkivezetés induktivitása. Az egymásnak ellentmondó feladatok megoldására sokféle tokozást fejlesztettek ki.

A leggyakoribb típusok radiális szalagkivezetéssel és axiális fémcsavarral rendelkeznek. A széles szalagkivezetésnek kicsi az induktivitása és jól csatlakoztatható a

nyomtatott áramkörökhöz. Az axiális fémcsavarral rögzíthető tranzisztor a hűtőbordához, ez biztosítja a hőelvezetést. Ezt a csavart általában elszigetelik az elektródáktól és így nem jöhet létre káros kapacitív visszacsatolás a hűtőbordákon keresztül.

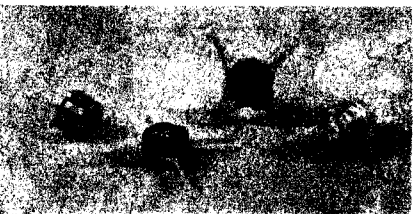
A szigetelést a tokon belül olyan anyaggal kell biztosítani, ami RF szempontból jó szigetelő, de a hő jól vezet. A legalkalmasabb anyag a berilliumoxid, amelynek pora sajnos erős mérég. Mivel a mai tranzisztorok zömében használják ezt az anyagot, a meghibásodott példányok szétzedése tilos! Az ilyen tranzisztorok adatlapján, és szállítás esetén a csomagoláson a gyártó feltűnő helyen figyelmeztet a veszélyre.



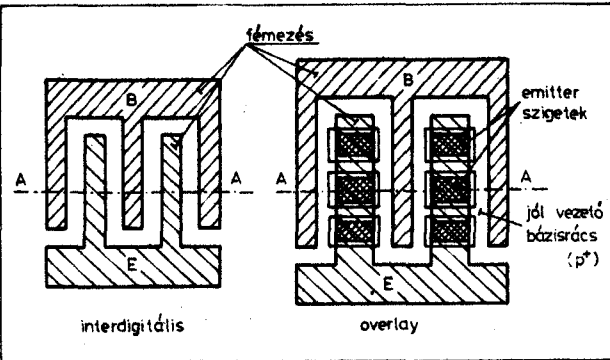
6.1. ábra

Két nézetből mutatja a 6.1. ábra a BLX 67-es (Mullard, 3W, 470 MHz) tranzisztort. Az ábrán megfigyelhetjük az eddig elmondottakat. Feltűnő a kettős emitterkivezetés, amely minden hasonló típust is jellemez és az emitter hozzávezetés induktivitását csökkenti.

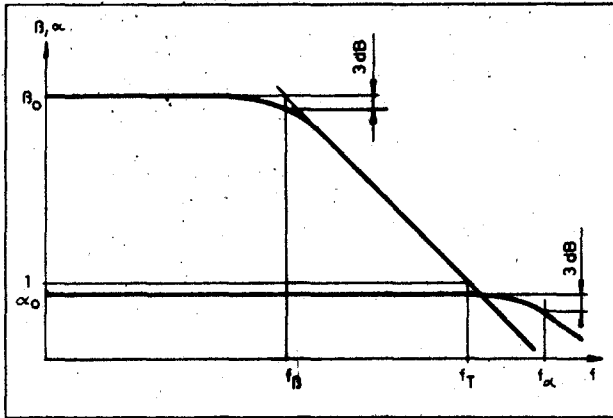
Néhány egyéb tranzisztortípus fényképét mutatja a 6.2. ábra.



6.2. ábra



5.1. ábra



7.1. ábra

7. Tranzitfrekvencia

A tranzisztor nagyfrekvenciás, nagy teljesítményű viselkedését nem jellemezhetjük néhány adattal. Azonban a gyakorlat igényeit kielégítő módon képet alkothatunk a viszonyokról néhány, vizsgálataink szempontjából különösen fontos paraméter ismeretében. Ezek közé tartozik a tranzitfrekvencia is.

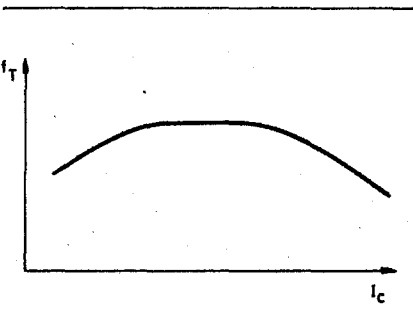
A 7.1. ábra mutatja egy tranzisztor földelt bázisú és földelt emitterű áramerősítési tényezőjének (α , ill. β) frekvenciafüggését. Az ábrán a különböző határfrekvenciákat is bejelöltük.

A jellegzetes határfrekvenciák növekvő sorrendben:

f_1 : β ezen a frekvencián csökken 3 dB-t a kisfrekvenciás értékéhez képest.

f_T : β itt éri el az 1 értéket. (Megjegyezzük, hogy a mérési módtól függően a tranzitfrekvenciát f_T , f_{β} vagy f_1 -gyel jelölik. f_1 jelölés mellett a mérés úgy történt, hogy valóban megkeresték azt a frekvenciát, ahol $\beta = 1$. f_T jelölés esetén, egy a várt határfrekvenciához közel eső frekvencián megmérték β -t, és a tranzitfrekvenciát az $f_T = \beta \cdot f$ alapján számolták.)

f_2 : α 3 dB-es pontja.



7.2. ábra

f_{max} : a bemenet és a kimenet impedanciaillesztése esetén ezen a frekvencián csökken a teljesítményerősítés 1-re.

Általában a földelt emitteres kapcsolás eredményezi a legnagyobb erősítést, a legnagyobb áramkörü stabilitást. A hangolás nem kritikus és nem nagyon érzékeny az áramkörü szórásokra. A gyakorlatban ezért különleges esetek kivételével ezt alkalmazzák.

A továbbiakban kizárólag a földelt emitterű kapcsolással foglalkozunk, így az f_2 határfrekvenciának vizsgálataink szempontjából nincs jelentősége. Mivel teljesítményerősítők esetén a kimeneten nem alkalmazhatunk impedanciaillesztést a kivethető teljesítmény és a hatásfok miatt, f_{max} határfrekvenciának sincs gyakorlati jelentősége.

Az érdekes két határfrekvencia közti közelítő viszony:

$$f_1 \approx \frac{f_T}{\beta_0}$$

ahol β_0 a kisfrekvenciás áramerősítési tényező.

Az áramerősítési tényező tetszőleges frekvencián:

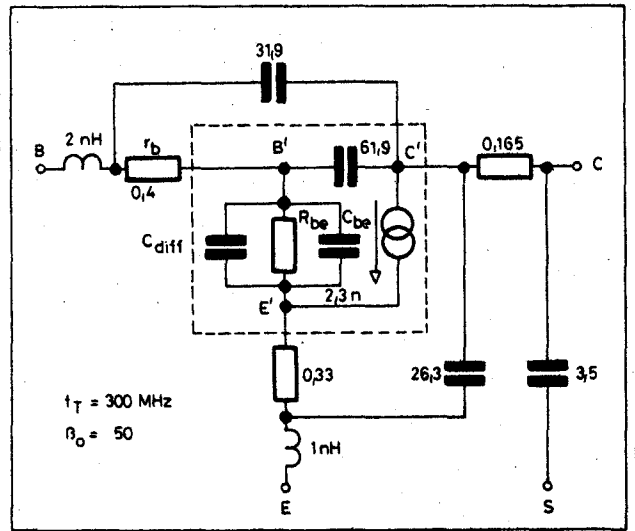
$$\beta = \frac{\beta_0}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_{\beta}}\right)^2}}$$

ha: $f < \frac{f_{\beta}}{3}$, akkor $\beta \approx \beta_0$.

Ebben a tartományban a „kisfrekvenciás” (egyenáramú) szemlélettel dolgozhatunk.

Ha: $f > 3f_{\beta}$, akkor $\beta = \frac{f_T}{f}$.

Ez a nagyfrekvenciás tartománya a tranzisztornak. Számunkra ez a lényegesebb, mert a teljesítményerősítők általában ebben a tartomány-



8.1. ábra

ban működnek. Az előző megállapítás nem érvényes a szélessávú erősítőkre, amelyek működési sávja gyakran az f_{β} frekvencia is beleesik.

A tranzitfrekvencia munkapont függő. A 7.2. ábrán a kollektoráram függvényében egy tipikus tranzitfrekvencia menetet láthatunk.

A tranzisztor véges határfrekvenciája fizikailag a késleltetési idő miatt jön létre. A tranzitfrekvenciát kifejezhetjük a megfelelő időállanddal is:

$$f_T = \frac{1}{2\pi\tau_T}$$

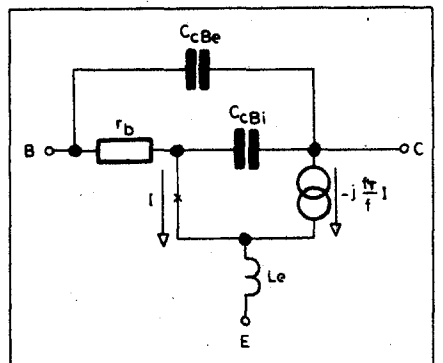
Az eredő időállandó és ezen keresztül a határfrekvencia négy fő összetevőtől függ:

$\tau_T = \tau_e + \tau_b + \tau_{CX} + \tau_c$, melyek jelentése:

τ_e emitter időállandó: az emitterdióda ellenállása szorozva az emitterkapacitással,

τ_b a töltéshordozóknak a bázisban való áthaladásához szükséges idő, τ_{CX} a töltéshordozóknak a kollektor kiürített rétegén való áthaladásához szükséges idő fele,

τ_c kollektorréteg ellenállása szorozva a kollektor-kapacitással.



8.2. ábra

A fejlődés kezdeti fokán (homogén bázisú tranzisztor) az időállandók közül a τ_b volt a domináns. Homogén bázisú (azaz a bázisban mindentúton azonos a szennyezőatomok koncentrációja) tranzisztornál a töltéshordozók bázisban való áthaladása diffúzióval történik.

τ_b radikális csökkenését a bázisvastagság csökkentésével és inhomogén szennyezéssel érte el. Ugyanis, ha olyan szennyezéssel alkalmazzuk a bázisban, amely az emitterátmenetnél nagy és a kollektor felé csökkenő, létrejön egy gyorsító térerősség, amely lecsökkenti a töltéshordozók futási idejét (drift-tranzisztor).

Megjegyezzük még, hogy az angol nyelvű irodalomban kissé félreérthető módon a *tranzitfrekvenciát erősítés sávszélesség szorzatának* nevezik („gain bandwidth product”).

8. Nagyfrekvenciás helyettesítőkép

A nagyfrekvenciás nagyjelű helyettesítőkép, amely precízen leírja a tényleges viszonyokat, elég bonyolult, és a vele való számítás meglehetősen nehézkes, általában számítógépet igényel.

„Elrettentésül” megadjuk a 8.1. ábrán a BLX 14 típusú tranzisztor (Mullard, RH szélessávú lineáris speciális típus, 50 W) helyettesítő képét az elemértékekkel.

A számszerű adatokat a nagyságrendi tájékoztatás érdekében adtuk meg. A tranzisztor emitter-, bázis-, kollektorkivezetései az E, B és C pontok. Az S pont a felerősítő csavar, ami szigetelt a többi elektródtól.

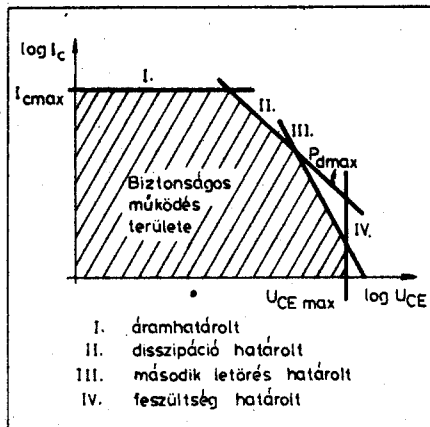
A „belső” tranzisztor az E', B' és C' pontokra csatlakozik, amelyhez természetesen nem férünk hozzá közvetlen méréssel. A C_{diff} diffúziós kapacitás és R_{be} bázis-emitter ellenállás a munkaponttól nagyon erősen függ, ezért nem adtuk meg az értékét. Ez a helyettesítő kép pontos vizsgálatokat tesz lehetővé, azonban *túlságosan bonyolult*.

Ha csak a nagyfrekvenciás esetre szorítkozunk, azaz a közelítéssel élhetünk, hogy a C_{diff} és C_{be} gyakorlatilag rövidrezárja az R_{be} ellenállást. A kevésbé lényeges elemek elhanyagolása után így kapjuk a 8.2. ábrán látható helyettesítő képet, amelyet további vizsgálatoknál még használni fogunk.

9. A biztonságos működés területe

A tranzisztor biztonságos működése érdekében a határadatokat feltétlenül be kell tartani! A biztonságos működés területét az $U_{CE} - I_c$ log-log léptékű koordináta-rendszerben célszerű megadni.

A 9.1. ábra egy ilyen görbét mutat egyenáramra.



9.1. ábra

Az I. és IV. határvonal szinte nem igényel magyarázatot: nem léphetjük túl az eszközre engedélyezett maximális áramot és feszültséget.

A II. határvonal mentén a disszipáció konstans:

$$U_{CE} \cdot I_c = P_d = P_{dmax}$$

Ez a tartomány a logaritmikusan ábrázolás miatt egy -45° -os hajlásszögű egyenes. (Lineáris léptékben természetesen egy hiperbola lenne.)

Magyarázatra szorul ellenben a III. határvonal. Ez a határ a tranzisztorban létrejövő helyi túlmelegedéssel magyarázható. Az ábrán a nem vonalkázott háromszög tartományon belül az áram, a feszültség és a disszipáció egyaránt a megengedett érték alatt van, a tranzisztor mégis tönkremehet.

A disszipáció igaz, hogy alatta van a megengedett maximális értéknek, azonban ez csupán azt jelenti, hogy a tranzisztor átlaghőmérséklete kisebb, mint az anyagra engedélyezett maximális érték. Ábban az esetben, ha valamelyik *elemi tranzisztor* a teljes áramnak nagyobb részét szolgáltatja, mint a többi, azon ponton a tényleges hőmérséklet lényegesen nagyobb lehet, mint az átlagérték.

Egy nyitott p-n átmenet árama konstans nyitóirányú feszültség esetén kb. $10\%/^\circ\text{C}$ arányban nő a hőmérséklettel. Ez azt jelenti, hogy egy erős pozitív visszacsatolás lép fel az egyszer elinduló helyi felmelegedés növelésére.

Ez a jelenség a második, helyesebben a *nyitóirányú második letörés*. A második letörést gátolja a széles bázisréteg alkalmazása, tehát kisméretű eszközökben ez a jelenség ritkán lép fel.

A második letörés csökkenti a tranzisztorból kivehető teljesítményt és megnöveli a meghibásodás valószínűségét kimeneti illesztettség esetén és lehangolás alatt. A jelenség ellen nem védekezhetünk

az emitterkörbe elhelyezett ellenállással, hiszen nem az a baj, hogy nagy az áram, hanem az, hogy *nem egyenletesen oszlik el az elemi tranzisztorok között*.

A gyártó cégek úgy igyekeznek csökkenteni a második letörés hatását, hogy *minden egyes elemi emitterrel* sorba elhelyeznek egy kis értékű ellenállást (emitter balanszírozott tranzisztor), pl. az emitterréteg és a fémezés között ellenállásréteg létrehozásával. Az emitter balanszírozott típusok többnyire *tetszőleges nagyságú állóhullámarányt* elviselnek a kimenetükön, *tetszőleges fázissal* (ezt az adatlap külön közli).

(Folytatjuk)

RT-kalendárium

Vezető: Borbás István és Katona Zoltán

Lapelődünk 50 évvel előtti egyik száma „*Közbenső frekvenciájú erősítő*” címmel közölt cikket egy bizonyos vételi elvről. Az egyik megoldási módot „*superheterodynnak*” nevezi! Ez az elv abban az időben igencsak újdonságnak számított, amit a lap egy másik híradása is érzékeltethet: „*Az egész világon üzemben levő felvevő készülékek közül 65% egyszerű kristálydetektoros készülék.*”

*

A *Magyar Radio Ujság* 1925. májusi száma vezércikkben foglalkozik az első magyar rádiókiállítással. Sajnos a kiállított tárgyakról semmi konkrétumot nem mond. (Vezércikket területén sincs semmi új!) A cikk felében írója azon kesereg, hogy milyen rettenetes hangzavar volt a kiállításon, ami a kiállított 25 W-os „*gépórásoktól*” származott. (Mit szólna a szerző egy mai beat-zenekar „teljesítményéhez”?) A cikk másik témája, hogy elárasszák az országot „a német selejtárak”.

*

Már több hírben láthattuk, hogy a félvezető technika szelleme már 50 évvel ezelőtt is kísértett. Az egyik korabeli cikk például a kristálydetektorokról szóló cikkben olyan kristályról írt, amelyben a tőt egy másik kristállyal helyettesítették. A cikk írója, *Schmiddegh* mérnök, az amatőrök figyelmébe ajánlotta a „*kettős detektor*”. „*Felhívom a kísérletsorozatára amatőreink figyelmét, mert a kérdéssel behatóan még nem foglalkoztak!*” (Milyen kár, hogy a cikkirő figyelmeztetését nem vették komolyan! Hiszen itt már a rétegranzisztorhoz vezető út kopogtatott!)