

I. I. S. ELECTRONICA BUCUREȘTI
SERVICE

BULETIN TEHNIC Nr.3

TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU GERMANIU
TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU SILICIU

PENTRU UZ INTERN

CUPRINS

| | |
|---|----|
| I. Tipuri și familii de tranzistoare cu germaniu | 5 |
| 1. Tranzistoare aliate PNP de mică putere | 5 |
| 2. Tranzistoare aliate NPN de mică putere | 11 |
| 3. Tranzistoare aliate Ge PNP și NPN de medie putere | 14 |
| Perechi complementare PNP/NPN | 17 |
| 4. Tranzistoare cu Ge PNP aliate, de putere | 20 |
| 5. Tranzistoare drift pentru FI și RF | 26 |
| II. Tipuri și familii de tranzistoare cu siliciu | 30 |
| A. Tranzistoare Si PNP și NPN de AF și comutație de mică putere | 31 |
| B. Tranzistoare Si NPN și PNP de medie putere | 43 |
| C. Tranzistoare Si NPN pentru etaje finale video | 56 |
| D. Tranzistoare Si de înaltă frecvență | 61 |
| 1. Tranzistoare universale de RF și FI-MA-MF | 63 |
| 2. Tranzistoare pentru frecvență intermediară video-sunet TV | 70 |
| 3. Tranzistoare de FIF și UIF | 76 |
| E. Tranzistoare de putere AF și baleiaj | 83 |

Autor: ing. EUGEN STATNIC

Tiparul executat sub comanda nr. 143 la Întreprinderea
poligrafică „Crișana”, Oradea str. Moscovei nr. 5

Într-un buletin tehnic anterior s-a tratat tehnologia tranzistoarelor, funcționarea și analiza parametrilor principali care caracterizează tranzistoarele. Tot în acel buletin s-au analizat condițiile limită de funcționare: tensiuni, curenți, temperatura joncțiunii și puterea disipată a tranzistoarelor. Un capitol special s-a rezervat tranzistoarelor de putere cu siliciu. Cunoștințele din acel buletin sînt necesare pentru însușirea materialului din prezentul buletin tehnic.

I. TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU GERMANIU

Vom analiza întii tranzistoarele cu germaniu, care, așa cum am arătat în capitolul de cunoștințe, privind tehnologia, pot fi aliate sau drift. Avem cîteva familii de tranzistoare cu germaniu:

1. Tranzistoare aliate de joasă frecvență (AF) și mică putere (PNP și NPN).
2. Tranzistoare aliate de joasă frecvență și medie putere (PNP și NPN).
3. Tranzistoare aliate de putere, pentru audiofrecvență (EFT și AD).
4. Tranzistoare drift, pentru frecvență intermediară și radiofrecvență L, M, S (EFT 317-319).

1. TRANZISTOARE ALIATE PNP, DE MICĂ PUTERE

De peste 15 ani se produce cunoscuta familie de tranzistoare *EFT 351, 352, 353 și EFT 321, 322, 323*, ambele serii rezultînd din aceeași producție. Seria EFT 350 era destinată etajelor de semnal mic și pentru aceasta, sortarea se făcea la curenți mici de colector (1—5 mA) iar seria EFT 320 pentru etajele finale de mică putere, era sortată la curenți de 100—200 mA. De fapt erau aceleași tranzistoare: de pildă EFT 352 cu EFT 322, doar că la EFT 322 se putea conta mai mult pe conservarea amplificării β la curenți mari.

Este cunoscut că aceste excelente tranzistoare au fost după anul 1965 sortate și însemnate și după tensiune, tranzistoarele fiind notate cu litere (B sau C) care evidențiau clasa de tensiune, astfel, de exemplu:

| | | | |
|-----------|-------|-----------|-----------------------|
| EFT 322 | | tensiunea | $U_{CBO}=24\text{ V}$ |
| EFT 322 B | | „ | $U_{CBO}=18\text{ V}$ |
| EFT 322 C | | „ | $U_{CBO}=12\text{ V}$ |

Ulterior, din anul 1970, s-a purces la o codificare nouă a tranzistoarelor pe baza unor criterii mai raționale care țin seama de fabricație, de dispersia inerentă a principalilor parametri: tensiunea și amplificarea de curent la $I_c=100$ mA.

Așa cum este ușor de înțeles, din fabricație rezultă tranzistoare cu o tensiune U_{CBO} cuprinsă între 10 V și 60 V, cu o anumită distribuție de procentaje, ca de pildă:

- 2% tranzistoare cu $U_{CBO} \leq 10$ V
- 13% tranzistoare cu $U_{CBO} = 10-18$ V
- 18% tranzistoare cu $U_{CBO} = 18-24$ V
- 20% tranzistoare cu $U_{CBO} = 24-32$ V
- 25% tranzistoare cu $U_{CBO} = 32-48$ V
- 10% tranzistoare cu $U_{CBO} = 48-60$ V
- 2% tranzistoare cu $U_{CBO} = 60$ V.

Reprezentarea grafică a acestei distribuții arată ca în fig. 1, în care trasându-se și o linie medie înfășurătoare, se obține „clopotul lui Gauss”, care nu este altceva decât o lege sau o funcție de probabilitate (distribuție gaussiană).

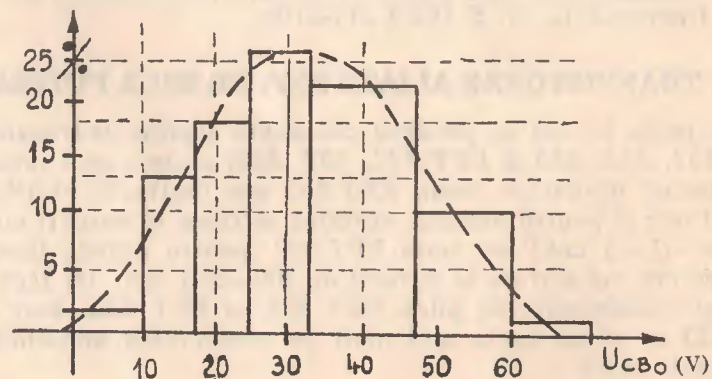


Fig. 1

La fel și amplificarea de curent (β , h_{21e}) are o distribuție gaussiană între $\beta=10 \dots 15$ și $\beta=150 \dots 300$. Dar și frecvența de tăiere f_T , care pentru familia de tranzistoare aliate de AF, este tipică 1,5 MHz, variază de la tip la tip între 1 și 2 MHz.

Știm din capitolul de tehnologie că dacă fronturile de aliere s-au apropiat mai mult, baza rezultă subțire, deci tensiunea de străpungere va fi mică, frecvența de tăiere mai mare, amplificarea β mai mare.

Codificarea tranzistoarelor după tensiunea U_{CBO} :

- 12 V → seria 300 adică EFT 301 — EFT 302 — EFT 303
- 18 V → seria 310 adică EFT 311 — EFT 312 — EFT 313
- 24 V → seria 320 adică EFT 321 — EFT 322 — EFT 323
- 32 V → seria 330 adică EFT 331 — EFT 332 — EFT 333
- 48 V → seria 340 adică EFT 341 — EFT 342 — EFT 343

respectiv:

- $U_{CBO} \geq 12$ V (12 ... 18 V) pentru seria 301 — 302 — 303
- $U_{CBO} \geq 18$ V (18 ... 24 V) „ „ 311 — 312 — 313
- $U_{CBO} \geq 24$ V (24 ... 32 V) „ „ 321 — 322 — 323
- $U_{CBO} \geq 32$ V (32 ... 48 V) „ „ 331 — 332 — 333
- $U_{CBO} \geq 48$ V (peste 48 V) „ „ 341 — 342 — 343

Seria de tranzistoare EFT 351-353 a dispărut din noua codificare. După amplificare, în cadrul fiecărei serii avem terminația 1, 2 sau 3 cu următoarea semnificație:

- 1 → $\beta = 17 \dots 45$ (roșu 20—30 și portocaliu 30—40)
- 2 → $\beta = 35 \dots 65$ (galben 40—50 și verde 50—60)
- 3 → $\beta = 55 \dots 200$ (albastru 60—75; violet 75—100; alb 100—150).

Astfel, toate tranzistoarele terminate cu 1 (EFT 311, 321, 331, 341) au amplificarea de curent cea mai mică, cuprinsă între 17—45, iar cele terminate cu 3 au amplificarea mare, cuprinsă între 60 și 200 la curentul $I_c=100$ mA.

Știm deci acum că tensiunea este exprimată de cifra a doua, iar amplificarea de cifra a treia. Punctul de culoare, în măsura în care apare pe un tranzistor aliat de AF, precizează mai exact amplificarea cu următoarea codificare:

- roșu 20 — 30 (15 — 35)
- portocaliu 30 — 40 (25 — 45)
- galben 40 — 50 (35 — 55)
- verde 50 — 60 (45 — 65)
- albastru 60 — 75 (55 — 80)
- violet 75 — 100 (70 — 110)
- alb 100 — 150 (85 — 180).

În paranteze sînt arătate abaterile față de categorie care se explică prin imprecizia măsurătorii atunci cînd s-a făcut sortarea, temperatura de măsurare și chiar deriva (modificarea sau evoluția parametrului în timp).

În afară de tensiune și amplificarea de curent, mai trebuie luate în considerare următoarele limite privind puterea și curentul:

P_a —puterea disipată la t ambianță de $25^\circ\text{C}=250\text{ mW}$

I_{CM} —curentul maxim de colector (de vîrf)=250 mA.

● Privind puterea pe care o pot disipa tranzistoarele din această familie, trebuie precizate rezistențele termice: R_{thj-c} (joncțiune-capsulă) și R_{thj-a} (joncțiune-aer ambiant) precum și temperatura admisă a joncțiunii:

$$R_{thj-c} = 80^\circ\text{C/W} = 0,08^\circ\text{C/mW}$$

$$R_{thj-a} = 300^\circ\text{C/W} = 0,3^\circ\text{C/mW}.$$

$$T_{jmax} = 85^\circ\text{C}$$

Se reamintește corelația dintre temperatura joncțiunii, puterea disipată și temperatura ambiantă:

$$T_j = T_a + P_a \cdot R_{thj-a}.$$

Astfel la $t_a = 25^\circ\text{C}$, cînd $P_a = 200\text{ mW}$; 100 mW ; 25 mW , tranzistorul fiind plasat în aer liniștit, se calculează temperatura joncțiunii:

$$\text{Cu } 200\text{ mW } T_j = 25 + 0,2 \cdot 300 = 25 + 60 = 85^\circ\text{C}.$$

$$\text{Cu } 100\text{ mW } T_j = 25 + 0,1 \cdot 300 = 25 + 30 = 55^\circ\text{C}.$$

$$\text{Cu } 25\text{ mW } T_j = 25 + 25 \cdot 0,33 = 33^\circ\text{C}.$$

Vom putea calcula ușor cît este puterea disipată admisă dacă tranzistorul (fără radiator) se află la temperatura ambiantă de 55°C (de exemplu într-un televizor):

$$P_a = \frac{T_j - T_a}{R_{thj-a}} = \frac{85 - 55}{300} = \frac{30}{300} = 0,1\text{ W}.$$

Folosind o aripioară de răcire cu suprafața de 4 cm^2 , avînd un colier de contact cu capsula, rezistența termică scade de la 300°C/W ($0,3^\circ\text{C/mW}$) cca 180°C/W , adică $0,18^\circ\text{C/mW}$. (rezistența termică a radiatorului este de cca 100°C/W , astfel că împreună cu $R_{thj-c} = 80^\circ\text{C/W}$, fac împreună 180°C/W).

Cu această aripioară se poate încălca tranzistorul la $T_a = 55^\circ\text{C}$, cu:

$$P_a = \frac{85 - 55}{180} = \frac{30}{180} = 166\text{ mW}.$$

Să reținem însă că la $P_a = 166\text{ mW}$, joncțiunea va fi foarte caldă: 85°C !

● Depășirea curentului de 250 mA nu distruge tranzistorul, cu condiția ca puterea disipată să nu depășească P_a de 150 mW , cu alte cuvinte, scurt timp tranzistorul poate suporta chiar 400 mA dacă U_{CE} nu depășește $0,3 - 0,4\text{ V}$.

● Amplificarea de curent scade pe măsură ce crește curentul, fiind cu $30 - 35\%$ mai mică la $I_c = 250\text{ mA}$, decît la $I_c = 10 - 20\text{ mA}$,

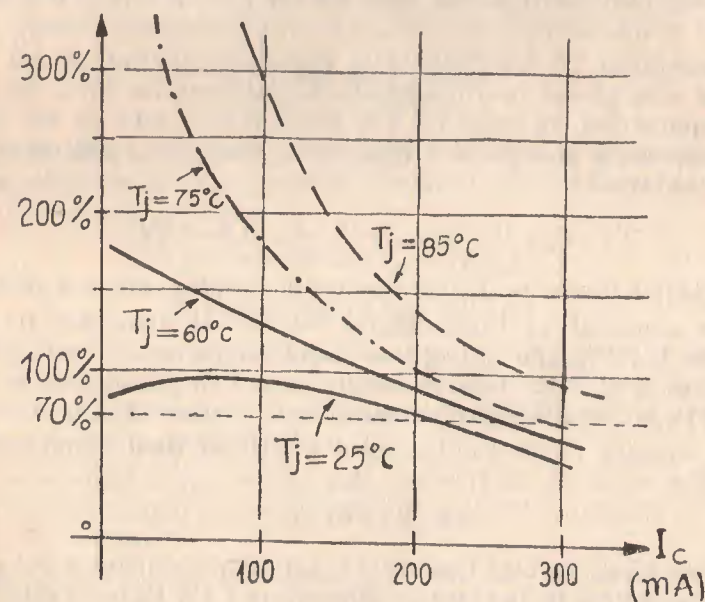


Fig. 2

dar este foarte mare atunci cînd temperatura joncțiunii crește peste 60°C . În fig. 2 se arată variația procentuală a I_c cu curentul și temperatura.

Periculoasă este zona de temperaturi a joncțiunii peste 60°C , cînd datorită proceselor din tranzistor, amplificarea de curent

(β , h_{21}) crește de 2—3 ori și conduce la ambalarea termică a tranzistorului și la rapida lui distrugere.

● *Concluzie: puterea disipată a tranzistorului din familia EFT 311... 353, nu are voie să depășească niciodată 100 mW!*

Bineînțeles că această condiție se pune atunci când se urmărește o funcționare absolut sigură a circuitelor.

În practică, tranzistoarele din familia aceasta sînt folosite ca preamplificatoare de AF, etaje defazoare și etaje finale în clasa B.

În etajele preamplificatoare puterea disipată nu depășește, de obicei, 5—10 mW, aceste etaje lucrînd la o tensiune de 5—10 V și un curent de lucru de 0,5—2 mA.

În funcție de defazor (driver), încărcarea poate fi de 50—80 mW, ca de exemplu la RR Select unde T8 are $I_C=12$ mA și $U_{CE}=5$ V ($P_a=60$ mW).

Tranzistorul T8 EFT 322 este destul de solicitat atunci cînd aparatul este plasat la o temperatură ambiantă de 35°C. În interiorul aparatului, în zona lui T8, temperatura este de cca 48°C, iar temperatura joncțiunii atinge 66°C, ceea ce se calculează cu relația amintită:

$$T_j = T_a + P_a \cdot R_{thj-a} = 48 + 60 \cdot 0,3 = 66^\circ\text{C}.$$

În etajele finale, problema încărcării termice este mai delicată.

Este cunoscut că randamentul teoretic al unui etaj final în cl. B este de 78 %. Dar în realitate etajele finale nu lucrează „curat” în cl. B ci în cl. AB, deoarece au un curent de polarizare de 3... 10 mA, în scopul evitării distorsiunilor de trecere (de tip β).

Din această cauză randamentul unui etaj final uzual este de 65—67%:

$$\eta_{clB} = 65 - 67\%$$

Înseamnă că un etaj final de AF care dă în difuzor o putere de 0,65 W, consumă de la sursa de alimentare 1 W. Puterea diferență:

$$P_{atm} - P_{tes} = P_a = 1 \text{ W} - 0,65 \text{ W} = 0,35 \text{ W}.$$

de 0,35 W va fi disipată pe cele 2 tranzistoare finale, în mod egal cîte 175 mW, ceea ce, încă nu depășește admisibilul pentru tranzistoarele acestei familii (180 mW la temperatura ambiantă de 45°C).

Să nu se uite că numai curentul de polarizare de 5—10 mA încarcă cu 25—50 mW un tranzistor din etajele finale.

Puterea de ieșire a etajelor finale în cl. B cu tranzistoare din familia de AF, nu poate deci depăși 0,6—0,7 W, (cazul aparatelor Mamaia, Albatros). Pentru siguranță, în aceste aparate, tranzistoarele sînt montate pe mici radiatoare, care dau posibilitate ca tranzistorul să poată disipa 200—220 mW la $t_a=55^\circ\text{C}$.

2. TRANZISTOARE ALIATE NPN, DE MICĂ PUTERE

Este mai dificilă fabricarea unui tranzistor NPN cu Ge decît a unui PNP cu Ge. Dar eliminarea transformatoarelor de ieșire și de defazare, din receptoarele mici, nu este posibilă fără crearea unei perechi complementare așa cum este perechea:

$$\begin{array}{cc} \text{EFT 323} + \text{EFT 373} \\ \text{PNP} & \text{NPN} \end{array}$$

O pereche de tranzistoare complementare se poate forma din 2 tranzistoare cu caracteristici electrice cît mai apropiate, mai ales în ceea ce privește:

- 1) caracteristica $I_C = f(U_{BE})$
- 2) caracteristica $h_{21E} = f(I_C)$.

Identitatea caracteristicilor de excitație $I_C = f(U_{BE})$ este necesară pentru a asigura curenți egali de colector la cele două tranzistoare, atunci cînd pe baza acestora se aplică tensiunea de audio-frecvență de la etajul defazor.

Caracteristica $h_{21E} = f(I_C)$ este importantă la orice etaj final, tot pentru a asigura curenți egali de colector, mai ales la excursii mari de curent.

● Tipică pentru tranzistoarele NPN este scăderea pronunțată a amplificării de curent la curenți mari de colector, așa cum se arată în fig. 3.

Situația este caracteristică și pentru perechile complementare AC 180/181, AC 184/185, EFT 367/377, AC 187/188 și în general pentru toate tranzistoarele complementare aliate cu germaniu.

Amplificarea poate diferi cu cel mult 15—25% la cele 2 tranzistoare; la acest ordin de mărime, reacția negativă corectează dife-

rența de h_{21E} , astfel că distorsiunile semnalului de la ieșire se situează sub 10%.

Se adoptă uneori o astfel de împerechere încît la curenții mici și mijlocii, amplificarea tranzistorului NPN să fie cu 20–25% mai

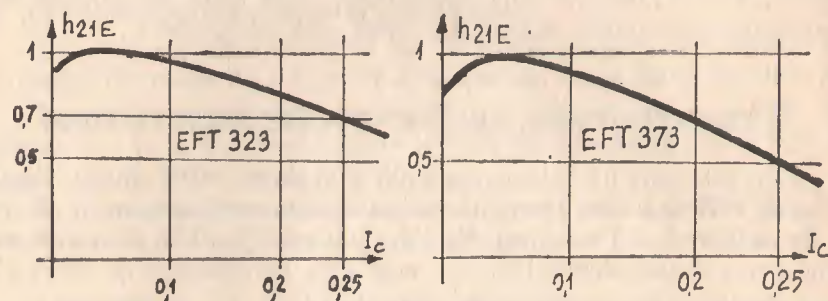


Fig. 3

mare, adică cu o culoare mai sus decît amplificarea tranzistorului PNP; datorită scăderii mai mari a lui h_{21E} la curenți mari, amplificarea tipului NPN nu va fi decît cu 15–20% mai mică decît cea a tranzistorului PNP. Această se vede bine în fig. 4 în care se arată caracteristicile reale $h_{21E}=f(I_C)$ la o pereche EFT 323 albastru—EFT 373 violet față de o pereche EFT 323 violet—EFT 373 violet.

Se vede din fig. 4 a că „desperecherea” voită cu o culoare, conduce la caracteristici mai apropiate în zona curenților mari de colector (0,25 A) în timp ce împerecherea la culoare asigură o identitate mai bună pînă la cca 65% din $I_{C\max}$ (0,15 A). Se arată mai jos și caracteristica distorsiunilor la același amplificator echipat cu perechea A și cu perechea B, la care excursia maximă de curent $I_{CM}=0,2$ A.

Se observă că la perechea A, diferența amplificărilor este mai mare la curenți de 50–100 mA și ca urmare distorsiunile la puteri mici sînt de 2...3%, obținîndu-se 10% distorsiuni la puterea de 0,35 W. Cu perechea B, la care diferența amplificărilor la curenți mici este relativ mică, se obțin distorsiuni de 0,5–1% la puteri pînă la 0,2 W, dar puterea cu 10% distorsiuni este de 0,3 W deoarece la peste 0,2 A, vezi fig. 4 b, diferențele de β sînt importante, mergînd pînă la 50%.

Cum la tranzistoarele NPN de tipul EFT 373, amplificarea este cuprinsă între 50 și 150, împerecherea se face cu tranzistoare EFT 322 și EFT 323. Întrucît la RR alimentate cu tensiune mică este posibilă utilizarea și a tranzistoarelor de 18 și 12 V, este uzuală

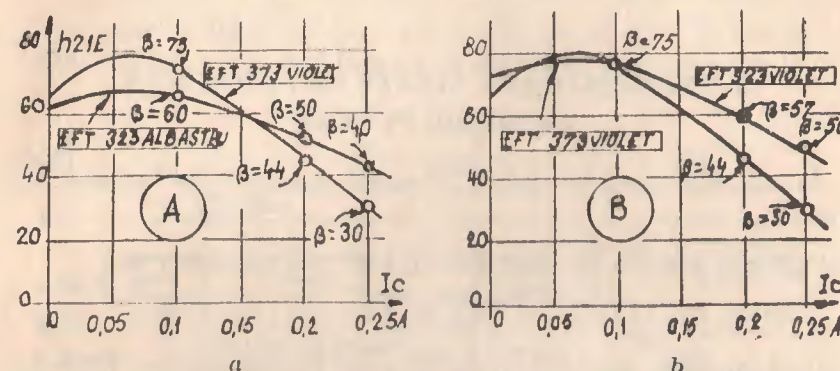


Fig. 4

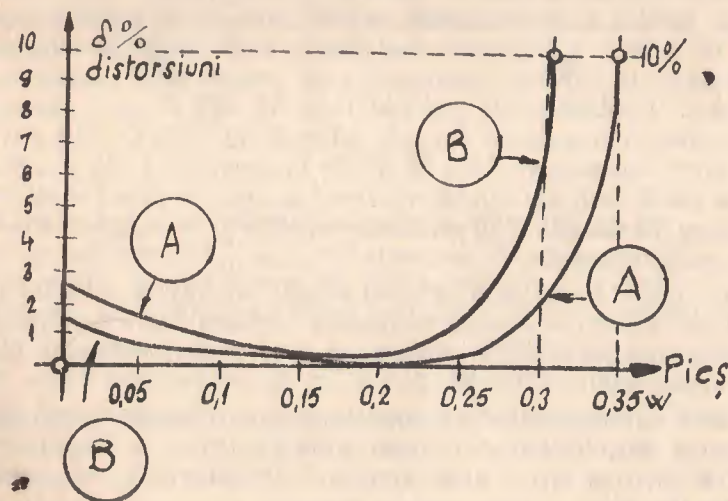


Fig. 5

și împerecherea lui EFT 373 cu tranzistoare EFT 312/313 și chiar EFT 302/303, importantă fiind clasa de amplificare de curent și nu tensiunea U_{CBO} sau U_{CEO} .

Exact aceleași probleme de împerechere se pun la perechea complementară AC 180 K + AC 181 K, unde este posibilă împerecherea tranzistorului PNP AC 180 K cu un tranzistor NPN AC 181 K de o clasă superioară ca amplificare, de exemplu AC 180 K VI cu AC 181 K VII sau AC 180 K IV cu AC 181 K V.

3. TRANZISTOARE ALIATE Gc PNP ȘI NPN DE MEDIE PUTERE

În această categorie intră 2 familii moderne de tranzistoare aliate:

PNP: AC 180 K, AC 180, AC 182, AC 184, EFT 367

NPN: AC 181 K, AC 181, AC 183, AC 185, EFT 377.

Capi de serie în aceste familii sînt tranzistoarele: PNP-AC 180K, și NPN-AC 181 K.

Tipic pentru aceste tranzistoare este curentul de colector maxim admis de 1,5–2 A, datorită unei foarte bune cedări a căldurii de la joncțiune la capsulă, asigurată prin „construcția” interioară a sistemului. Tranzistoarele AC 180 K și AC 181 K au o rezistență termică joncțiune-capsulă R_{thjc} de cel mult 30°C/W. Cu alte cuvinte atunci cînd tranzistorul AC 180 K este încărcat cu 1 W, joncțiunea este mai caldă decît suprafața exterioară a capsulei cu cel mult 30°C, dar numai în situația cînd prisma metalică K a capsulei este montată pe un radiator metalic.

Dacă însă tranzistorul AC 180 K sau AC 181 K se află liber, nefixat de vre-un radiator, rezistența termică între joncțiune și ambianță $R_{thja} \leq 170^\circ\text{C/W}$, face ca tranzistorul să nu poată disipa mai mult de 300–320 mW.

O altă caracteristică a tranzistoarelor de medie putere este conservarea amplificării de curent pînă la 1,5 A la tipul PNP AC 180 K și pînă la cca 1 A la tipul NPN AC 181 K, așa cum se arată în fig. 6.

Dar deoarece caracteristica amplificării de curent este diferită la cele două tranzistoare, fiind mai căzătoare la tipul NPN, împerecherea pentru etajele finale complementare se face în 2 puncte: la 50 mA și 600 mA. Chiar sortarea tranzistoarelor după

clasele de amplificare β (sau h_{21E}) se face la curentul de 600 mA, astfel,

| clasa | IV | V | VI | VII | VIII |
|-----------|-------|--------|--------|---------|----------|
| h_{21E} | 20–65 | 50–100 | 75–150 | 125–250 | 200–400. |

Se vede în fig. 6 că dacă un tranzistor AC 181 K are la $I_C = 600$ mA $h_{21E} = 65$ (deci face parte din clasa V) acesta are la $I_C =$

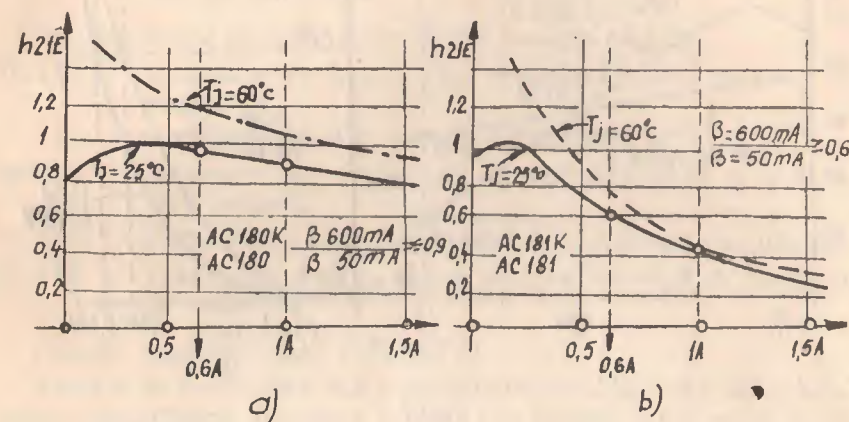


Fig. 6

= 50 mA un $h_{21E} =$ de cca 100. La un PNP-AC 180 K, cînd $h_{21E 600 \text{ mA}} = 65$, se înțelege că $h_{21E 50 \text{ mA}}$ va fi de cca 70, deoarece β nu scade așa de mult. Împerecherea are loc în principal la 600 mA, unde h_{21E} nu are voie să difere cu mai mult de 25% (de la PNP la NPN).

Cu această împerechere se obține un paralelism acceptabil între cele 2 tranzistoare și ca urmare un nivel mic de distorsiuni.

● Problema care mai apare este că tranzistoarele NPN au o caracteristică de transfer mai „leneșă” în sensul că este necesară o tensiune de „deschidere” U_{BE} mai mare decît la tipurile PNP.

Astfel pentru ca prin „traseul” colector-emitor să curgă 600 mA, este necesară la AC 180 K o tensiune de cca 0,45 V, în timp ce (vezi fig. 7 b) tipul NPN AC 181 K „cere” 0,55 V. Altfel spus, o tensiune U_{BE} de 0,4 V forțează prin AC 180 K un curent de bază de cca 5 mA, în timp ce la AC 181 K curentul bazei va fi de 3 mA.

Cum însă amplificarea lui AC 181 K este cu cca 30% mai mare decât la AC 180 K, în domeniul 100—500 mA, se ajunge la curenți pe colector relativ apropiați în zona unde cele 2 tranzistoare par neîmperecheate, dacă privim caracteristicile din fig. 7 a.

Necazul apare la curenți mai mari de 600 mA, unde pe de o parte scade h_{21E} (β) și reduce curentul I_C , iar pe de altă parte curen-

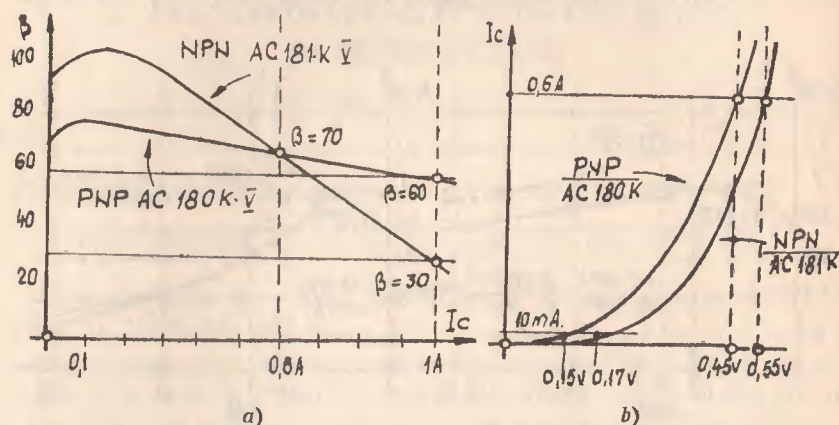


Fig. 7

tul I_C tinde să fie mai mic datorită tensiunii U_{BE} , insuficientă pentru excitarea tranzistorului NPN. De aceea etajele cu tranzistoare complementare se dimensionează astfel ca I_{CM} (curentul de vîrf de colector) să nu depășească cu mult valoarea curentului de împerechere, deci nu mult peste 0,6 A).

O compensare mai corectă a dezavantajelor tranzistorului NPN, se obține luînd tranzistorul NPN la o clasă de amplificare mai mare decât tipul PNP, lucru menționat încă odată atunci cînd s-a analizat perechea EFT 323/373.

*

Din fabricația curentă tranzistoarele se sortează într-o anumită ordine care permite departajarea și a unor tranzistoare foarte bune, pentru etaje finale de putere mai mică sau pentru etaje prefinale sau preamplificatoare.

Astfel, din tehnologia de medie putere PNP se obțin tipurile:
AC 180 K —tranzistor cu conservarea h_{21E} pînă la 1,5 A (cu radiator K prismă)

AC 180 —identic cu AC 180 K, dar fără radiatorul prismă.

EFT 367 —tranzistor cu conservarea h_{21E} pînă la 1 A, fără prismă K.

AC 184 —tranzistor cu conservarea h_{21E} pînă la 0,5 A, fără prismă.

AC 182 —tranzistor cu h_{21E} mare pînă la 0,2—0,3 A (prefinal de calitate).

Din tehnologia de medie putere NPN se obțin tipurile:

AC 181 K —tranzistor cu $h_{21E}=f(I_C)$ acceptabilă pînă la 1 A, cu prismă K.

AC 181 —tranzistor identic, dar fără radiatorul K.

EFT 377 —tranzistor cu conservare acceptabilă pînă la 0,5 A, fără prismă.

AC 185 —Conservarea h_{21E} pînă la cca 0,3 A, fără radiator prismă.

AC 183 —Tranzistor cu h_{21E} mare pînă la 0,1—0,2 A (prefinal de calitate).

Perechi complementare PNP/NPN

Acestea se pot forma din tranzistoare cu conservare asemănătoare a amplificării. Deoarece însă h_{21E} la tipurile NPN scade mult cu creșterea I_C , etajele finale se proiectează astfel încît I_{CM}^* (valoarea de vîrf a curentului I_C din etajul final) să nu depășească o anumită valoare rezonabilă.

| | | |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------|
| AC 180 K + AC 181 K | $I_{CM}=0,8 \div 1$ A | $P_{tes\ max} \approx 3$ W |
| EFT 367 + EFT 377 | $I_{CM}=0,4 \div 0,5$ A | $P_{tes\ max} \approx 1,15$ W |
| AC 184 + AC 185 | $I_{CM}=0,25 \div 0,3$ A | $P_{tes\ max} \approx 0,7$ W |
| EFT 323 + EFT 373 | $I_{CM}=0,25$ A | $P_{tes\ max} \approx 0,5$ W. |

* Pe tranzistoarele destinate perechilor complementare se află, în afară de codul și clasa de amplificare, un număr compus din 2 cifre, care semnifică clasa de împerechere: astfel sînt pereche toate tranzistoarele care au aceiași cifră de împerechere (PNP sau NPN).

Tranzistoarele PNP și NPN aliate din familia AF de mică și medie putere sînt prezentate, pentru o mai ușoară depistare și comparare într-un tabel comun:

TRANZISTOARE GE, ALIATE, PNP

| Tranzistor | POL. | U_{CBO} | U_{CEO} | $I_{C\ max}$ | $P_d\ mW$ | $P_d\ mW$ | R_{thjc} | F_T | h_{21E} | marcare |
|------------|------|-----------|-----------|--------------|------------------------|------------------------|------------------|-------|------------------|----------------------|
| | | (V) | (V) | (mA) | ($T_A = 25^\circ C$) | ($T_A = 45^\circ C$) | ($^\circ C/W$) | (MHz) | static la 100 mA | |
| EFT 311 | PNP | 18 | 10 | 250 | 250 | 180 | 80 | 1,3 | 17—45 | roșu, portocaliu |
| EFT 312 | PNP | 18 | 10 | 250 | 250 | 180 | 80 | 1,6 | 35—65 | galben, verde |
| EFT 313 | PNP | 18 | 10 | 250 | 250 | 180 | 80 | 2 | 55—200 | albastru, violet alb |
| EFT 321 | PNP | 24 | 16 | 205 | 250 | 180 | 80 | 1,3 | 17—45 | roșu, portocaliu |
| EFT 322 | PNP | 24 | 16 | 250 | 250 | 180 | 80 | 1,6 | 35—65 | galben, verde |
| EFT 323 | PNP | 24 | 16 | 250 | 250 | 180 | 80 | 2 | 55—200 | |

| | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----|----|----|-------|-----|-----|----|---------|--|---------------------------|
| EFT 367 | PNP | 32 | 16 | 1 A | 250 | 180 | 60 | 1,5 | A = 45—75 B = 65—100 C = 90—170 | leșite din uzul curent |
| EFT 124 | PNP | 24 | 16 | 0,5 A | 500 | 230 | 60 | 0,5 | 20—45 | |
| EFT 125 | PNP | 24 | 16 | 0,5 A | 500 | 230 | 60 | 0,5 | 40—100 | |
| AC 180 | PNP | 32 | 16 | 1,5 A | 300 | 225 | 30 | 2,5(>1) | IV 25—50 V 50—100 VI 75—150 VII 125—250 VIII 200—400 | |
| AC 184 | PNP | 32 | 16 | 0,5 A | 270 | 200 | 60 | 2,5(>1) | | |
| AC 180 K | PNP | 32 | 16 | 1,5 A | 440 | 320 | 30 | 2,5(>1) | | |
| TRANZISTOARE GE, ALIATE, NPN | | | | | | | | | | |
| EFT 373 | NPN | 24 | 12 | 250 | 250 | 140 | 80 | 1,5 | 55—155 | albastru, violet alb |
| | | | | | | | | | | |

| ETAJE FINALE CL.B | I_{CM} | U_{ALIM} (max) | R_s (dif) | $P_{ief\ max}$ | $P_{ief\ 10\%}$ | $P_{ief\ 1\%}$ |
|-------------------|----------|---------------------|-------------|----------------|-----------------|----------------|
| EFT 323+EFT 373 | 0,25 A | 6 V | 8 Ω | 0,45 W | 0,35 W | 0,25 W |
| EFT 367+EFT 377 | 0,5 A | 9 V | 8 Ω | 1,15 W | 0,9 W | 0,75 W |
| AC 184+AC 185 | 0,25 A | 6 V | 8 Ω | 0,5 W | 0,4 W | 0,3 W |
| | | 12 V | 24 Ω | 0,7 W | 0,6 W | 0,5 W |
| AC 180 K+AC 181 K | 1 A | 9 V | 4 Ω | 2,1 W | 1,75 W | 1,6 W |
| | | 12 V | 5 Ω | 3 W | 2,5 W | 2 W |
| AC 180 K+AC 180 K | 1,5 A | 15 V | 5 Ω | 4,5 W | 3,9 W | 3 W |

4. TRANZISTOARE CU Ge, PNP, ALIATE, DE PUTERE

Programul IPRS oferă o serie de tranzistoare de putere, destinate etajelor de audiofrecvență, unele în capsulă mare TO3, iar altele în capsulă mai mică SOT9 (tipurile AD 152, AD 155).

Avem trei familii de tranzistoare după mărimea curentului de colector:

- 1) $I_{CM} = 2A$ AD 152, AD 155
- 2) $I_{CM} = 3A$ AD 130, 131, 132; AD 149; EFT 212, 213. 214; EFT 250.
- 3) $I_{CM} = 10A$ ASZ 15, 16, 17, 18.

Pentru reținerea parametrilor principali am întocmit tabelul de mai jos:

| Tranzistor | PO | U_{CE0} (V) | U_{CE0} (V) | I_{CM} (A) | h_{21E} tiple (dispersia) | $U_{CE\ sat}$ (V) | $la\ I_C$ (A) | f_T MHz | R_{thjc} °C/W | T_{jmax} °C | $P_D\ f(U_{CE})$ Tc=45°C |
|------------|-----|------------------|------------------|-----------------|--------------------------------|----------------------|------------------|--------------|--------------------|------------------|--|
| AD 152 | PNP | 45 | 23 | 2 | 75 (35-150) | 0,9 | 2 | >0,8 | 7,5 | 85 | 6 W cu rad. infinit |
| AD 155 | PNP | 25 | 15 | 2 | 120 (50-200) | 0,9 | 2 | >0,8 | 7,5 | 85 | 6 W cu rad. infinit |
| AD 130 | PNP | 32 | 30 | 3 | 50 (20-100) | 0,6 | 3 | >0,25 | 1,5 | 90 | 30 W la 0-10 V |
| AD 131 | PNP | 60 | 45 | 3 | 50 (20-100) | 0,6 | 3 | >0,25 | 1,5 | 90 | 20 W la 0,5 U_{CE0} |
| AD 132 | PNP | 80 | 60 | 3 | 50 (20-100) | 0,6 | 3 | >0,25 | 1,5 | 90 | 15 W la 0,7 U_{CE0} |
| AD 149 | PNP | 50 | 30 | 3 | 60 (30-100) | 0,3 | 2 | >0,5 | 2 | 90 | 10 W la 0,85 U_{CE0} 6 W la U_{CE0} |
| ASZ 15 | PNP | 100 | 60 | 10 | 40 (20-55) | 0,35 | 10 | 0,2 | 1,5 | 90 | 22 W la 0-10 V 15 W la $U_{CE}=20\ V$ 10 W la $U_{CE}=25\ V$ 5 W la U_{CE0} |
| ASZ 16 | PNP | 60 | 32 | 10 | 75 (45-130) | 0,35 | 10 | 0,25 | 1,5 | 90 | 30 W la 0-10 V 20 W la 0,5 U_{CE0} |
| ASZ 17 | PNP | 60 | 32 | 10 | 50 (25-75) | 0,35 | 10 | 0,22 | 1,5 | 90 | 15 W la 0,7 U_{CE0} 10 W la 0,85 U_{CE0} |
| ASZ 18 | PNP | 100 | 60 | 10 | 80 (30-110) | 0,35 | 10 | 0,22 | 1,5 | 90 | 6 W la U_{CE0} |

TRANZISTOARE DE PUTERE DIN FABRICAȚIA ANILOR

1960—1970*

(* în paranteză este trecut tipul nou, înlocuitor)

| Tranzistor | POL | U_{CBO} (V) | U_{CE0} (V) | I_{CM} (A) | h_{21E} tipic (dispersia) | $U_{CE sat}$ (V) | I_a I_c (A) | f_T (MHz) | R_{thjc} ($^{\circ}C/W$) | $T_{j max}$ ($^{\circ}C$) | P_D $T_c=45^{\circ}C$ |
|----------------------|-----|---------------|---------------|--------------|-----------------------------|------------------|-----------------|-------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| EFT 212 *(AD 130) | PNP | 30 | 20 | 3 | 40 20—150 | 0,4 | 3 | 0,2 | 2 | 85 | 20 W |
| EFT 213 *(AD 130) | PNP | 40 | 30 | 3 | 40 20—150 | 0,4 | 3 | 0,2 | 2 | 85 | 20 W |
| EFT 214 *(AD 131) | PNP | 60 | 40 | 3 | 40 20—150 | 0,4 | 3 | 0,2 | 2 | 85 | 20 W |
| EFT 250 *(AD 132) | PNP | 80 | 60 | 3 | 40 20—150 | 0,4 | 3 | 0,2 | 2 | 85 | 20 W |

● Tranzistoarele AD 152 și AD 155 admit un $I_{CM}=2$ A cu o conservare bună a curentului pînă la 1 A și doar acceptabilă spre curenți de 2 A, așa cum arată fig. 8 a.

Pentru forțarea unui curent de 2 A, tensiunea U_{BE} necesară este de cca 0,8 V cu dispersie cuprinsă între 0,65 și 1,15 V. Avînd o amplificare mai bună (h_{21E}) tipul AD 155 se excită mai ușor decît AD 152, necesitînd o putere mai mică a etajului prefinal, ceea ce se vede în fig. 8b.

● La un etaj final de putere cu 2 tranzistoare PNP, a cărei schemă simplificată este arătată în fig. 9, avem următoarele mărimi caracteristice:

a) Tensiunea maximă la care este supus un tranzistor: $U_{CEmax}=0,5 U_B$.

b) Curentul de vîrf de colector: $I_{CM} = \frac{\frac{U_B}{2} - U_{CE sat}}{R_s + R_E} \cong \frac{U_B}{2R_s}$

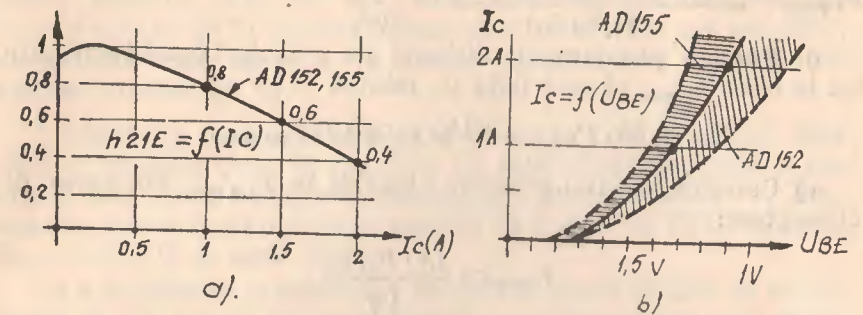


Fig. 8

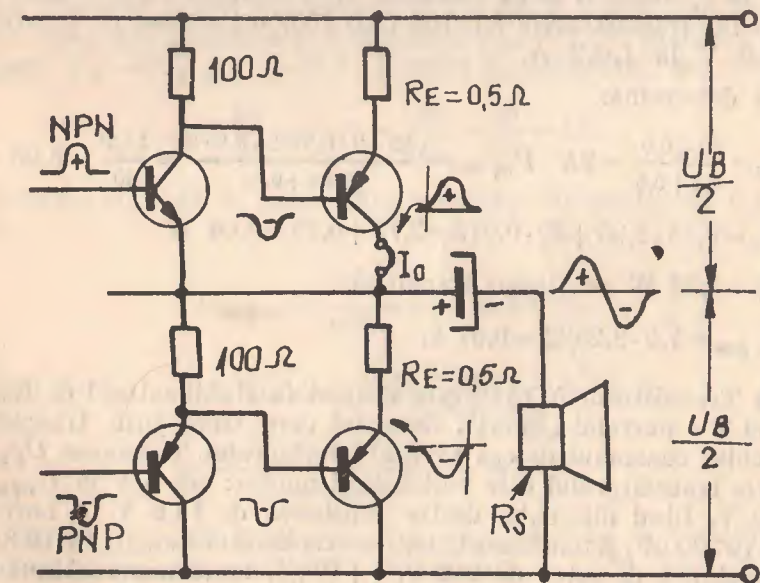


Fig. 9

c) Puterea de ieșire maximă: $P_{ieș\ max}$

$$P_{ieș\ max} = \frac{(U_B - 2 \cdot U_{CE\ sat} - 2R_E I_{CM})^2}{8(R_s + R_E)} \approx \frac{U_B^2}{10R_s}$$

d) Puterea pierdută = P disipată de ambele tranzistoare, are loc la $0,5 P_{ieș\ max}$ și este dată de relația:

$$P_d = 0,33 \cdot P_{ieș\ max} + U_B \cdot I_0 \approx 0,37 P_{ieș\ max}$$

e) Curentul continuu mediu absorbit la $P_{ieș\ max}$ din sursa de alimentare:

$$I_{o\ max} \approx \frac{1,5 \cdot P_{ieș\ max}}{U_B}$$

● Cu aceste valori să determinăm mărimile principale ale etajului final (un canal) al RR „BUCUR” știind că tensiunea redresorului stabilizat, care alimentează etajul final, este de cca 22 V la $I_0 = 0,65$ A și că difuzorul are rezistența în c.c. egală cu $4,5 \Omega$ iar tranzistoarele AD 152 (AD 155) o tensiune de saturație de 0,9 V la $I_0 = 2$ A.

Se determină:

$$I_{CM} = \frac{11 - 0,9}{4,5 + 0,5} = 2A \quad P_{ieș\ max} = \frac{22 - 2 \cdot 0,9 - 2 \cdot 0,5 \cdot 2}{8(4,5 + 0,5)} = \frac{18,2^2}{40} = 8,25 \text{ W}$$

$$P_d = 0,33 \cdot 8,25 + 22 \cdot 0,015 = 2,73 + 0,33 = 3,06 \text{ W}$$

$$P_d = 1,53 \text{ W pe fiecare tranzistor}$$

$$I_{o\ max} = 1,5 \cdot 8,25 / 22 = 0,57 \text{ A.}$$

● Tranzistorul AD 149 este utilizat în stabilizatorul de tensiune al TV portabil „Sport”. Curentul care trece prin tranzistor este chiar consumul de cca 1,8 A al televizorului. Tensiunea U_{CE} la bornele tranzistorului este variabilă și anume: cca 5 V la $U_{rețea} = 220$ V, fiind diferența dintre tensiunea de 15,5 V la bornele C 404 (2 200 μ F) și tensiunea la ieșirea stabilizatorului: 10,5–10,8 V. La tensiunea de rețea de 242 V, (+10%), tensiunea continuă pe C 404 este de 17,1 V astfel că $U_{CE} = 17,1 - 10,5 = 6,6$ V. În această situație limită, puterea disipată de tranzistor este:

$$P_d = 6,6 \cdot 2 = 13,2 \text{ W.}$$

Știind că $R_{thj-c} = 2^\circ\text{C/W}$, rezultă că joncțiunea este cu cca 30°C ($2^\circ\text{C/W} \cdot 13 \text{ W} = 26^\circ\text{C}$) mai caldă decât capsula. Temperatura capsulei este de cca 45°C atunci când temperatura camerei este de 30°C ; aceasta înseamnă că joncțiunea are cca 70°C , tranzistorul fiind aproape de limita superioară a temperaturii maxime admise (90°C).

* Înlocuirea tranzistorului AD 149 cu un tranzistor din seria ASZ, de exemplu ASZ 16 sau ASZ 17, este o soluție pentru a asigura o mai mare fiabilitate televizorului întrucât la 13 W, diferența de temperatură joncțiune-capsulă va fi doar de 20°C , deoarece $R_{thjc} = 1,5^\circ\text{C/W}$ la seria ASZ.

Cu o pereche de tranzistoare ASZ 15 se poate realiza un amplificator de AF a cărui putere și principale date le putem ușor determina:

a) Tensiunea de alimentare poate fi de 30–50 V deoarece $U_{CEO} \geq 60 \text{ V}$.

b) Curentul de vîrf I_{CM} poate fi de 8 A dar în scopul funcționării într-o zonă mai lineară a caracteristicii $h_{21E} = f(I_c)$, admitem 5 A Alegem: $U_B = 40 \text{ V}$ și $I_{CM} = 5 \text{ A}$. Rezultă R_s (difuzorul) din relația

$$I_{CM} \approx \frac{U_B}{2R} \text{ sau } R_s = \frac{U_B}{2I_{CM}} = \frac{40}{2 \cdot 5} = 4 \Omega$$

Puterea maximă de ieșire (fără rezistențe de emitor de $0,5 \Omega$) va fi:

$$P_{ieș\ max} \approx \frac{U_B^2}{10R_s} = \frac{1600}{40} \approx 40 \text{ W.}$$

Mai exact,

$$P_{ieș\ max} = \frac{(U_B - 2U_{CE\ sat} - 2R_E I_{CM})^2}{8(R_s + R_E)} = \frac{(40 - 2 \cdot 0,35 - 2 \cdot 0,5 \cdot 5)^2}{8(4 + 0,5)} = 36 \text{ W}$$

deci: $P_{ieș\ max} = 36 \text{ W}$. (la care distorsiunile pot fi 13–17%). Se poate conta că la 25 W distorsiunile vor fi de ordinul a 2–3%, ceea ce se verifică în practică. Curentul continuu necesar:

$$I_{o\ max} = \frac{1,5 \cdot 36 \text{ W}}{40 \text{ V}} \approx 1,35 \text{ A.}$$

5. TRANZISTOARE DRIFT PENTRU FI ȘI RF

Familia de tranzistoare drift cuprinde tipurile EFT 317, EFT 319, EFT 320.

Așa cum se știe, frecvența de tăiere f_T a acestor tranzistoare este de 30–40 MHz. Înțelegem deci că la $f=30-40$ MHz, amplificarea β în curent alternativ devine 1; cu alte cuvinte la aceste frecvențe tranzistorul drift nu mai amplifică un semnal aplicat la intrare, deoarece raportul β dintre curentul alternativ de colector și curentul alternativ al bazei este 1. Să reținem că:

$$\text{La } f=f_T \quad \beta = \frac{I_C}{I_B} \approx 1, \text{ deoarece } f_T = f \cdot \beta_1.$$

Pentru imediată comparație, tranzistoarele moderne, succesoare ale tranzistoarelor drift, și anume familia BF 214–BF 215 au $f_T=250$ MHz.

Ca urmare, tranzistorul BF 214 va avea la frecvența de 30 MHz o amplificare β în curent alternativ egală cu:

$$\beta \sim = \frac{f_T(\text{MHz})}{30 \text{ MHz}} = \frac{250}{30} \cong 8 \text{ deoarece } f_T \cong f \cdot \beta_1$$

Aceasta înseamnă de pildă că o tensiune de FI de 1 mV (cu frecvența de 30 MHz) aplicată pe bază va „produce” în circuitul de colector o tensiune de FI de 8 mV.

Tranzistoarele EFT 317, 319, 320 pot însă funcționa ca amplificator în mod satisfăcător pînă la frecvența de ordinul a 10–15 MHz, adică pînă la cca $0,5 f_T$, ceea ce este valabil pentru toate tranzistoarele de înaltă frecvență.

Prima reflexie: tipurile BF 214–215 avînd $f_T=250$ MHz, pot lucra satisfăcător pînă la frecvența de cca 120 MHz, adică în gama de UUS sau în primele canale de televiziune (canalul 5 are max 100 MHz), dar nu la 200–300 MHz (canalele 6–12 de TV) [Aviz celor ce înlocuiesc pe BF 200 ($f_T=500$ MHz) cu BF 214 ($f_T=250$ MHz) în selectorul de canale TV].

● Într-un etaj de FI-MA tranzistorul drift EFT 319 este însă aproape egal cu tranzistorul BF 214, deoarece la $f=0,5$ MHz este puțin important dacă frecvența f_T a tranzistorului este de 50 ori sau 500 ori mai mare decît f de lucru. Și aceasta deoarece panta S sau (Y_{21}) a unui tranzistor de înaltă frecvență este cam la fel

de mare atît timp cît frecvența de lucru este de 10 ori mai mică decît f_T , așa cum se vede din fig. 10, unde pînă la cca $0,1 f_T$ panta este constantă și egală cu 35 mA/V (la $I_C=1$ mA).

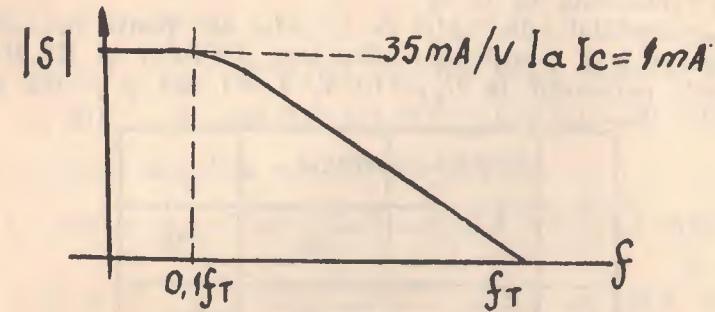


Fig. 10

Alții sînt factorii care vor influența asupra amplificării de FI și anume rezistențele de intrare și de ieșire, care sînt cu atît mai mari cu cît tranzistorul este mai bun.

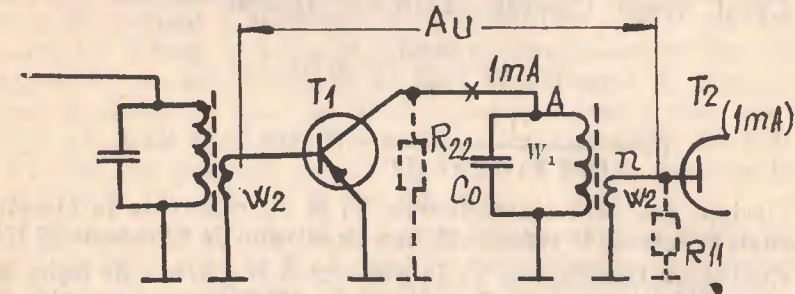


Fig. 11

Pentru a înțelege cum parametrii y ai unui tranzistor influențează amplificarea unui etaj de FI, vom prezenta schema electrică simplificată a acestuia (fig. 11):

$$n = \frac{W_1}{W_2} = 20 \quad R_0 = \frac{1}{2\pi C B_0} \quad B_0 = \frac{f_0}{Q_0}$$

$$R_s = R_0 \parallel R_{22} \parallel R_{11} \cdot n^2$$

$$A_u = \frac{S \cdot R_s}{n}$$

Din cei patru parametri y (cu 8 componente) ne interesează, în prima analiză, numai 3 componente sau mărimi:

R_{11} =rezistența de intrare în schema cu emitorul comun (EC)

R_{22} =rezistența de ieșire

Y_{21e} =modulul admitanței de transfer sau panta S .

Luăm cele 2 tranzistoare discutate: EFT 319 și BF 214 cu următorii parametri la $U_{CE}=10$ V, $I_C=1$ mA și $f=0,5$ MHz:

| | EFT 319 | BF 214 | |
|----------|--------------------|--------------------|------------|
| R_{11} | 1 | 2 | K Ω |
| R_{22} | 300 | 1 000 | K Ω |
| S | $35 \cdot 10^{-3}$ | $35 \cdot 10^{-3}$ | A/V |

Uzual avem: $C_0=1$ nF ($1 \cdot 10^{-9}$ F) $Q_0=90$

$$B_0 = \frac{455}{90} = 5 \text{ KHz}$$

$$R_0 = \frac{1}{6,28 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 5 \cdot 10^3} = 32 \cdot 10^3 \text{ (32 K}\Omega\text{)}$$

Deci în gol, fără tranzistoarele T_1 și T_2 conectate la circuitul acordat, rezistența la rezonanță R_0 a circuitului de FI este de 32 K Ω .

Conectînd tranzistorul T_1 în punctul A rezistența de ieșire R_{22} (de 0,3 M Ω la EFT 319 și de 1 M Ω la BF 214) va amortiza un pic circuitul acordat, rezultînd:

la 319 $R=32 \text{ K}\Omega \parallel 300 \text{ K}\Omega \rightarrow 29 \text{ K}\Omega$ (90% din 32 K Ω deci $Q_s=81$)
la 214 $R=32 \text{ K}\Omega \parallel 1 \text{ M}\Omega \rightarrow 31 \text{ K}\Omega$ (97% din 32 K Ω deci $Q_s=87$).

Deci factorul de calitate scade de la 90 la 87 în cazul lui BF 214 și la 81 în cazul lui EFT 319, iar banda de trecere crește cu 3% și respectiv 10%.

Conectînd tranzistorul T_2 , rezistența de intrare R_{11} a acestuia va amortiza și ea circuitul acordat de FI, dar prin intermediul raportului de transformare $n=20$, astfel că R_{11} este transpus cu n^2 la circuitul acordat: $n^2=400$.

Ca urmare amortizarea datorită R_{11} va fi:

$$\text{la 319: } R_{11}=n^2 R_{11}=400 \cdot 1=400 \text{ K}\Omega$$

$$\text{la 214: } R_{11}=n^2 R_{11}=400 \cdot 2=800 \text{ K}\Omega.$$

Rezultă deci R_s'

$$\text{la 319 } R_s=32 \text{ K}\Omega \parallel 300 \text{ K}\Omega \parallel 400 \text{ K}\Omega=27 \text{ K}\Omega$$

$$\text{la 214 } R_s=32 \text{ K}\Omega \parallel 1 \text{ M}\Omega \parallel 800 \text{ K}\Omega=30 \text{ K}\Omega.$$

Cu aceasta calculăm amplificarea etajului:

$$\text{la 319 } A_u = \frac{27 \cdot 10^3 \cdot 35 \cdot 10^{-3}}{20} = 47,3 \text{ ori (33,7 dB)}$$

$$\text{la 214 } A_u = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 35 \cdot 10^{-3}}{20} = 52,5 \text{ ori (34,2 dB)}$$

care rezultă cu 0,5 dB mai mare în cazul folosirii tranzistorului BF 214, ceea ce este cu totul nesemnificativ.

Concluzii: ① pentru FI—MA (455 KHz), tranzistoarele drift EFT 319 sînt excelente, chiar dacă rezistența de ieșire este mai mică (de ordinul a 100—200 K la EFT 319 verde F sau 319 albastru E); ② Este deci clar că înlocuirea tranzistoarelor din ultimul etaj de FI nu este critică chiar dacă amplificarea de curent continuu β are valori mici, de 10—20, deoarece panta este cea care contează și nu β . ③ folosirea în FI a tranzistoarelor EFT 317 și EFT 320 este posibilă în locul tipurilor EFT 319, deoarece la $f=0,5$ MHz, R_{11} , R_{22} și S sînt identici.

Tot așa însă trebuie să nu se uite că în etajul al doilea de FI, care este comandat de RAA, este necesară folosirea unui tranzistor cu β mare (amplificarea de c.c.) ca și la EFT 319 albastru. Tip înlocuitor poate fi EFT 317 sau EFT 320 cu β mai mare de 50 sau un tranzistor EFT 319 verde ales ca să aibă $\beta > 50$.

● În etajele de RF UL și UM (0,15—1,6 MHz) tranzistoarele EFT 319, verde, verde F sau albastru, albastru E, fac foarte bine funcția de mixer autooscilant fără să se observe modificări ale sensibilității (amplificării).

● În postul de mixer autooscilant de unde scurte, sau de oscilator de scurte, înlocuirea tranzistoarelor mai bune (317) prin 319 se poate face numai prin încercarea aptitudinii exemplarului în cauză de a oscila la o tensiune de alimentare de 50% din

tensiunea nominală (cazul RR Alfa, Milcov, cu US, etc). Aceasta deoarece în postul de oscilator, parametri măsurabili nu pot fi corelați ușor cu condițiile în care este pus tranzistorul să oscileze (cuplajul de reacție, dispersia și toleranțele montajului etc).

Trebuie însă menționat că tranzistoarele drift 317—319 vor dispărea în anii următori din aparatele noi deoarece tehnologia planară face posibilă fabricarea unor tranzistoare superioare și tehnic și sub aspectul economic.

*

Cu aceasta se încheie capitolul tranzistoarelor cu germaniu.

S-a căutat în permanență ca volumul de cunoștințe și informații să fie astfel prezentat încât să fie util și pentru tranzistoarele cu siliciu și mai ales pentru înțelegerea corectă și pe o cale simplă a multor probleme.

*

*

*

II. TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU SILICIU

Procesul de informare și de cunoaștere trebuie să se concentreze de acum în mod special asupra tranzistoarelor moderne cu care deja lucrăm și care se vor generaliza în scurt timp.

● Cunoaștem acum doar câteva tipuri de tranzistoare cu siliciu mai răspândite: BC 107—108—109; BF 214—215; BF 200; BF 167—173; BF 178 sau tipurile BF 182—183 care au și ieșit deja din uz. Apar în aceste zile pe agendă, tranzistoarele de UIF BF 180 și BF 181. Toate acestea sînt tranzistoare NPN, majoritatea lor fiind însă tranzistoare „mici”, adică de 100—200 mW și de joasă tensiune (15—45 V). Doar BF 178, excelent amplificator final video (mai bun decît un PFL 200), este un tranzistor de 160 V cu puterea disipată de 2—3 W.

● A apărut de câteva luni o avalanșă de tranzistoare complet noi, a căror cunoaștere determină munca de fiecare zi. Scopul acestui important capitol este prezentarea și clasificarea noilor tranzistoare și gruparea lor astfel încît să devină la fel de ușor de cunoscut ca și tipurile cu care sîntem deja obișnuiți. Vor intra în uz tranzistoare NPN și PNP de putere mică, de medie putere,

de comutație, tranzistoare cu tensiuni pînă la 1 500 V. Majoritatea covârșitoare a tranzistoarelor mici au deja capsula de plastic — pe linia economiei de metale și ore mașini de prelucrare — și chiar tranzistoarele de putere în plastic, vor domina pe cele în vechea și scumpa (de două ori mai scumpă decît *structura*) capsulă din metal TO 3.

● Înainte de a analiza fiecare familie de tranzistoare cu siliciu vom prezenta într-un tabel sinoptic toate aceste familii, cu tipurile multe ale fiecărei familii. Tipurile **foarte multe** se deosebesc în general prin capsulă și extrem de puțin sub aspectul parametrilor electrici, fiind în principiu intersanjabile. După cum se va vedea în tabel, capsulele de plastic sînt și ele diferite între ele și uneori chiar ordinea terminalelor este alta, deoarece capsula depinde de construcția interioară a suportului metalic pe care este fixat sistemul (structura).

A. TRANZISTOARE SI PNP ȘI NPN DE AF ȘI COMUTAȚIE, DE MICĂ PUTERE

Sînt foarte cunoscute pînă acum tranzistoarele NPN cu siliciu BC 107—BC 108—BC 109 utilizate în etajele de audiofrecvență ale radioreceptoarelor precum și în etajele cele mai diverse (de audiofrecvență, de comutație sau prefinale video) ale televizoarelor.

1. TRANZISTOARE NPN

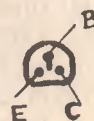
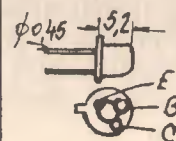
Familia BC 107—108—109, în capsulă metalică TO 18, se produce pe plan mondial din anii 1965—1966, de către aproape toate firmele de semiconductoare: Philips cu sucursalele (Valvo, MBLE, Mullard, La Radiotechnique) apoi Siemens, AEG-Telefunken, SESCOSEM, ATES-SGS, Texas Instruments, Motorola, Fairchild etc.).

În ultimii ani se fabrică tranzistoare similare și echivalente tipurilor BC 107—108—109, dar în capsulă de plastic. După rezolvarea marilor probleme de impermeabilitate a materialului plastic, din care se toarnă capsulele diodelor și tranzistoarelor, tehnologia în plastic a devenit mai productivă iar tranzistoarele în plastic mai ieftine cu 20—40% decît echivalentele lor în metal.

1. TRANZISTOARE DE AF ȘI

| | | | |
|--|---|--------|---------|
| NPN AUDIO ȘI COMUTA- ȚIE PL. EPITAXIALE | CAPSULA | METAL | PLASTIC |
| | $U_{CEO}=45\text{ V}$ | BC 107 | BC 171 |
| | $U_{CEO}=20\text{ V}$ | BC 108 | BC 172 |
| | $U_{CEO}=20\text{ V}$ $F=3\text{ dB}$ | BC 109 | BC 173 |
| PNP AUDIO ȘI COMUTA- ȚIE PL. EPITAXIALE | CAPSULA | METAL | PLASTIC |
| | $U_{CEO}=-45\text{ V}$ | BC 177 | BC 251 |
| | $U_{CEO}=-20\text{ V}$ | BC 178 | BC 252 |
| | $U_{CEO}=-20\text{ V}$ $F=3\text{ dB}$ | BC 179 | BC 253 |

$\beta = 100-1\ 000$
 $I_{CM}=200\text{ mA}$
 $I_C=100\text{ mA}$
 $P_d=0,2-0,3\text{ W}$
 $f_T=150-300\text{ MHz}$
 $F=2-10\text{ dB}$



2. TRANZISTOARE NPN ȘI

| | | $U_{CBO}\text{ (V)}$ | $U_{CEO}\text{ (V)}$ | $I_C\text{ (A)}$ |
|---|--------|----------------------|----------------------|------------------|
| NPN PL. EPITAXIAL $R_{thjc}=10^\circ\text{C/W}$ | BD 135 | 45 | 45 | 1 |
| | BD 137 | 60 | 60 | 1 |
| | BD 139 | 80 | 80 | 1 |
| PNP PL. EPITAXIAL $R_{thjc}=10^\circ\text{C/W}$ | BD 136 | - 45 | - 45 | 1 |
| | BD 138 | - 60 | - 60 | 1 |
| | BD 140 | - 80 | - 80 | 1 |

COMUTAȚIE NPN ȘI PNP DE MICĂ PUTERE

| | | | | |
|---------|---------|---------|--------|---------|
| PLASTIC | PLASTIC | PLASTIC | EPOXY | PLASTIC |
| BC 237 | BC 147 | BC 167 | BC 207 | BC 547 |
| BC 238 | BC 148 | BC 168 | BC 208 | BC 548 |
| BC 239 | BC 149 | BC 169 | BC 209 | BC 549 |
| | | | | |
| PLASTIC | PLASTIC | PLASTIC | EPOXY | PLASTIC |
| BC 307 | BC 157 | BC 257 | BC 204 | BC 557 |
| BC 308 | BC 158 | BC 258 | BC 205 | BC 558 |
| BC 309 | BC 159 | BC 259 | BC 206 | BC 559 |

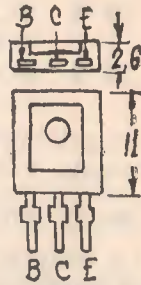
PNP DE MEDIE PUTERE

| $I_{CM}\text{ (A)}$ | $P_d\text{ } t_a=45^\circ\text{C}$ (W) | $P_d\infty\text{ (W)}$ | h_{21E} | $f_T\text{ (MHz)}$ | capsula |
|---------------------|---|------------------------|-----------|--------------------|---------|
| 1,5 | 1 | 6 | 40-250 | 100 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 40-160 | 100 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 30-140 | 100 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 40-250 | 50 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 40-160 | 50 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 30-140 | 50 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 40-250 | 100 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 40-160 | 100 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 30-140 | 100 | |
| 1,5 | 1 | 6 | 40-250 | 100 | |

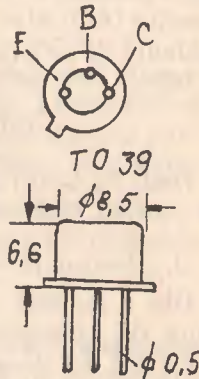
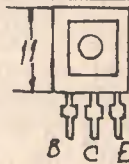
| | | U_{CBO} (V) | U_{CEO} (V) | I_C (A) |
|--|--------|---------------|---------------|-----------|
| NPN EPIBAZĂ $R_{thjc} = 5^\circ\text{C/W}$ | BD 233 | 45 | 45 | 2 |
| | BD 235 | 60 | 60 | 2 |
| | BD 237 | 100 | 80 | 2 |
| PNP EPIBAZĂ $R_{thjc} = 5^\circ\text{C/W}$ | BD 234 | — 45 | — 45 | 2 |
| | BD 236 | — 60 | — 60 | 2 |
| | BD 238 | — 100 | — 80 | 2 |

3. TRANZISTOARE NPN

| | U_{CBO} (V) | U_{CEO} (V) | U_{EBO} (V) | I_{CM} (mA) | C_{12E} typ (pF) | f_T (MHz) |
|----------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|-------------|
| BF 177 | 100 | 100 | 5 | 50 | 2,7 | 120 |
| BF 178 | 160 | 160 | 5 | 50 | 2,7 | 120 |
| BF 179 A | 180 | 185 | 5 | 50 | 2,7 | 120 |
| BF 179 B | 220 | 220 | 5 | 50 | 2,7 | 120 |
| BF 179 C | 250 | 250 | 5 | 50 | 2,7 | 120 |
| BF 257 | 160 | 160 | 5 | 100 | 4,2 | 90 |
| BF 258 | 250 | 250 | 5 | 100 | 4,2 | 90 |
| BF 300 | 300 | 300 | 5 | 100 | 4,2 | 90 |
| BF 457 | 160 | 160 | 5 | 200 | 4,7 | 90 |
| BF 458 | 250 | 250 | 5 | 200 | 4,7 | 90 |
| BF 459 | 300 | 300 | 5 | 200 | 4,7 | 90 |

| I_{CM} (A) | P_d $t_a=45^\circ\text{C}$ (W) | $P_{d\infty}$ (W) | h_{21E} | f_T (MHz) | capsula |
|--------------|----------------------------------|-------------------|-----------|-------------|---|
| 5 | 1 | 20 | 30—250 | 3 |  |
| 5 | 1 | 20 | 25—200 | 3 | |
| 5 | 1 | 20 | 20—150 | 3 | |
| 5 | 1 | 20 | 30—250 | 3 | |
| 5 | 1 | 20 | 25—200 | 3 | |
| 5 | 1 | 20 | 20—150 | 3 | |

FINALE VIDEO

| B la 10 V/300 mA | P_d (mW) la $t_a=45^\circ\text{C}$ | R_{thjc} ($^\circ\text{C/W}$) | T_{jmax} $^\circ\text{C}$ | $P_{tot\infty}$ (W) | capsula |
|-----------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------|---------------------|---|
| >30 | 500 | 50 | 150 | 2,2 |  |
| >25 | 500 | 50 | 150 | 2,2 | |
| >20 | 500 | 50 | 150 | 2,2 | |
| >20 | 500 | 50 | 150 | 2,2 | |
| >20 | 500 | 50 | 150 | 2,2 | |
| >25 | 700 | 30 | 175 | 3,5 | |
| >25 | 700 | 30 | 175 | 3,5 |  |
| >25 | 700 | 30 | 175 | 3,5 | |
| >25 | 1 000 | 10 | 150 | 8 | |
| >25 | 1 000 | 10 | 150 | 8 | |
| >25 | 1 000 | 10 | 150 | 8 | |

Capsulele de plastic sînt foarte diferite ca formă și doar din această cauză apar multe tipuri de tranzistoare, care în fapt sînt echivalente sau chiar identice, precum cele de mai jos:

45 V BC 107 = BC 147 = BC 167 = BC 207 = BC 237 =
= BC 547 = BC 171
20 V BC 108 = BC 148 = BC 168 = BC 208 = BC 238 =
= BC 548 = BC 172
20 V BC 109 = BC 149 = BC 169 = BC 209 = BC 239 =
= BC 549 = BC 173.

Proprietățile principale ale acestei familii de tranzistoare, planar epitaxiale, vor fi analizate în cele ce urmează:

A. Puterea disipată.

La temperatura ambiantă de 45°C, toate tipurile pot disipa cel puțin 200 mW, $P_d = 200$ mW. Unele tipuri în plastic au $P_d = 250$ mW (BC 171, 172, 173; BC 237, 238, 239; BC 167, 168, 169) iar tipurile în metal tot cca 250 mW. Rezistența termică între joncțiune și mediul ambiant este, la aceste tranzistoare, $R_{thj-a} = 0,5^\circ\text{C/W}$. Nu se recomandă ca aceste tranzistoare să fie utilizate la puteri mai mari de 150 mW pentru ca temperatura joncțiunii să nu depășească niciodată 125°C. În acest fel se asigură fiabilitatea în timp a acestor tranzistoare. Dacă tranzistorul lucrează într-o temperatură ambiantă de 75°C, puterea maximă ce o va putea disipa se determină cu relația cunoscută:

$$P_d = \frac{T_{j\max} - T_a}{R_{thj-a}} = \frac{125 - 75}{0,5} = 100 \text{ mW}$$

Deci, în locuri „calde” ca, de exemplu, în televizoare, 100 mW este puterea maximă la care pot fi încărcate aceste tranzistoare.

B. Tensiunile maxime

Din o singură fabricație se sortează, după tensiunea U_{CBO} , 2 grupe de tranzistoare, astfel:

- cele cu $U_{CBO} > 50$ V → adică tipul BC 107
- cele cu $U_{CBO} > 30$ V → adică tipurile BC 108 și BC 109
- din grupa de 30 V se sortează tranzistoarele cu zgomot foarte mic obținându-se tipul BC 109, restul devenind tranzistoarele cele mai comune, adică BC 108.

Știm că tensiunea U_{CEO} este mai mică decît tensiunea U_{CBO} cu 10–30%; la BC 107 avem $U_{CBO} \geq 50$ V iar $U_{CEO} \geq 45$ V, în timp ce la BC 108 $U_{CBO} \geq 30$ V iar $U_{CEO} \geq 20$ V.

Tensiunea U_{BE} normală este de 0,6–0,7 V. Tensiunea inversă ce poate fi aplicată între E și B adică U_{EB} este în general de 5 V; depășirea acestei tensiuni conduce la distrugerea joncțiunii emitor-bază.

| | U_{CBO} | U_{CEO} | U_{EBO} |
|--------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| BC 107, 147, 167, 207, 237, 547, 171 | 50 V | 45 V | 6 V |
| BC 108, 148, 168, 208, 238, 548, 172 | 30 V | 20 V | 5 V |
| BC 109, 149, 169, 209, 239, 549, 173 | 30 V | 20 V | 5 V |

C. Curenții admiși

- Curentul continuu de colector I_C este de 100 mA; $I_C = 100$ mA.
- Curentul de vîrf maxim admis, de orice formă ar fi acesta: $I_{CM} = 200$ mA.
- Curentul maxim admis al bazei (continuu sau de vîrf): $I_B = 50$ mA

Curenții reziduali (inverși) sînt foarte puternic dependenți de temperatură, dar sînt extrem de mici:

$$1 \text{ nA } (1 \cdot 10^{-9} \text{ A}) \text{ la } t_j = 25^\circ\text{C}$$

Curentul I_{CBO} : la $U_{CB} = 20$ V

$$1 \text{ } \mu\text{A } (1 \cdot 10^{-6} \text{ A}) \text{ la } t_j = 125^\circ\text{C}$$

D. Amplificarea de curent.

Tipic pentru toate tranzistoarele planar epitaxiale este dependența de curent a amplificării, așa cum se arată în fig. 12 din care se citește ușor esențialul: amplificarea este mai mică la curenți mici (de 0,1 ... 1 mA) și crește de 2–3 ori cu creșterea curentului, fiind maximă pe la 10–20 mA. Cele 3 grupe:

| | | |
|---------|------------------------------------|----------------------|
| grupa A | $\beta = 220$ tipic, (125 ... 260) | domeniu de dispersie |
| grupa B | $\beta = 330$ „, (240 ... 500) | „ „ „ |
| grupa C | $\beta = 600$ „, (450 ... 900) | „ „ „ |

prezintă o dispersie relativ mare. De exemplu două tranzistoare BC 238 din grupa B adică BC 238 B, pot avea unul o amplificare β de 250 iar celălalt de 450, deoarece dispersia admisă pentru grupa B este de 240 ... 500). Două tranzistoare din grupa C pot avea unul $\beta = 500$ iar altul 900.

● Trebuie reamintit și faptul că amplificarea de curent (β) depinde foarte mult de temperatura joncțiunii, așa cum se vede în fig. 13.

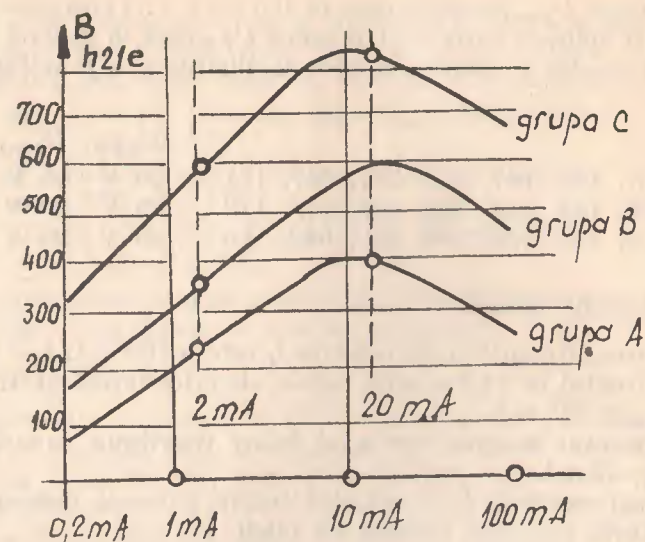


Fig. 12

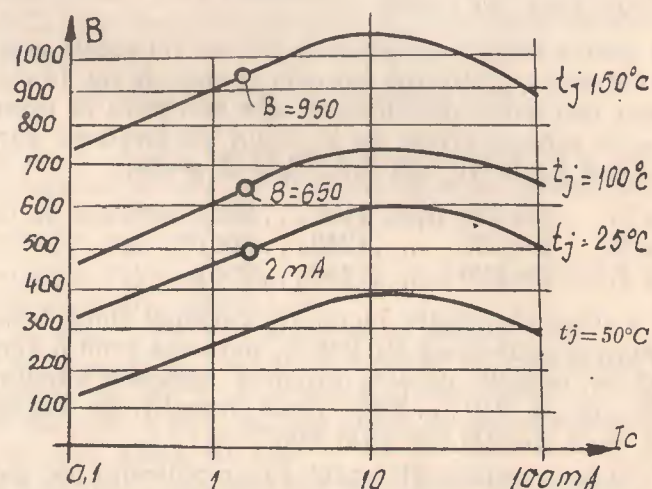


Fig. 13

Așa de exemplu, un tranzistor din grupa C, BC 108 C, care are la $t_j = 25^\circ\text{C}$ și $I_C = 2 \text{ mA}$ $\beta = 500$, va avea la $t_j = 100^\circ\text{C}$ deja o amplificare $\beta = 650$ iar la temperatura joncțiunii de 150°C (limita de funcționare), $\beta = 950$.

● Tranzistoarele de tensiune ridicată (BC 107) avînd baza mai groasă, au implicat o amplificare mai mică: BC 107 nu are grupa C. Tot așa tranzistorul BC 109 nu are grupa A.

E. Proprietățile de frecvență ale familiei BC 107, 108, 109

Frecvența de tăiere f_T este de 150...300 MHz, deoarece rezistența bazei $r_{bb'}$ este mică iar capacitatea colectorului este doar de 3÷5 pF. Cu toate că f_T este mare totuși aceste tranzistoare nu pot fi utilizate în amplificatoare de RF sau FI, deoarece capacitatea dintre colector și bază, care este de fapt capacitatea de reacție C_{12} este de ordinul a 3—4 pF și nu de 0,5—1 pF. Aceste tranzistoare pot fi însă oscilatoare foarte bune pînă la frecvența de ordinul a 200 MHz.

Frecvența de tăiere f_T depinde de curentul I_C , ca în curba din fig. 14.

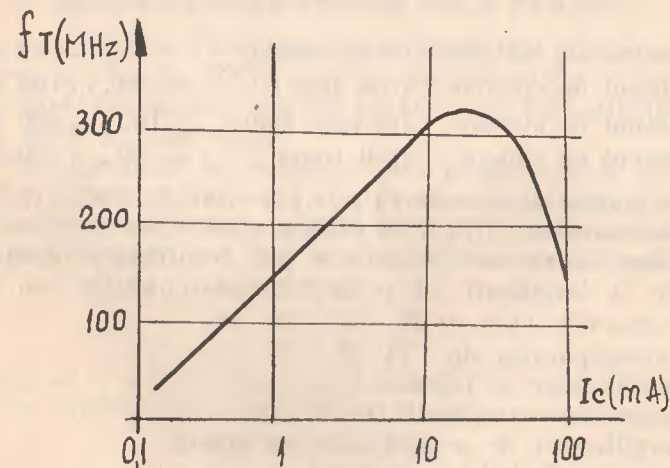


Fig. 14

Se vede că la 0,1—0,2 mA $f_T = 40$ —50 MHz, la 1—2 mA este de ordinul a 150—200 MHz, are un maxim la 300—350 MHz atunci cînd $I_C = 10$ —30 mA și scade la 120—150 MHz cînd curentul depășește 50 mA.

F. Proprietăți de comutație

Cataloagele nu indică la aceste tranzistoare parametrii de comutație; cunoscând capacitățile $C_{CB}=3-5$ pF și $C_{EB}=8-10$ pF și rezistențele r_{11} și r_{22} , se pot calcula parametrii de comutație, calcule ce se verifică în practică. Reamintim acești parametri, folosind fig. 15.

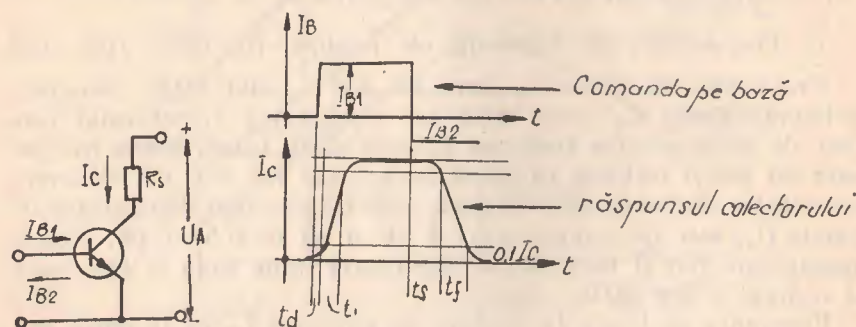


Fig. 15

| | | |
|--|---|----------------|
| t_d =timpul de întârziere (delay time) | = | 5 ... 25 ns |
| t_r =timpul de creștere (rise time) | = | 50 ... 100 ns |
| t_s =timpul de stocare (storage time) | = | 100 ... 300 ns |
| t_f =timpul de cădere (fall time) | = | 50 ... 150 ns. |

Avînd timpul de conectare ($t_d + t_r$) de ordinul a 100 ns (0,1 μ s) și timpul de deconectare ($t_s + t_f$) de ordinul a 300–500 ns (0,3–0,5 μ s) este evident că aceste tranzistoare pot fi utilizate în etaje de comutație cu impulsuri de ordinul microsecundelor sau zecilor de microsecunde, cum ar fi:

- sincroseparator de TV;
- amplificator de impulsuri;
- poartă cu coincidență (în RAA);
- amplificator de semnal complex video;
- oscilator de balciaj orizontal.

● Privind timpii de comutație t_d , t_r , t_s și t_f trebuie menționat că aceștia depind în mare măsură de schema electrică a etajului. Mărirea impulsului de comandă pe bază produce mărirea curentului de colector. Cu cît curentul I_C este mai mare cu atît timpii t_d și t_r vor fi mai mici; tranzistorul reacționează mai „iute“.

La mărirea impulsului de blocare, crește curentul I_{B2} care curge din bază spre exterior (evacuîndu-se astfel sarcina din bază) și ca urmare timpul de deconectare ($t_s + t_f$) se scurtează. O concluzie care se poate trage de aici, este că pentru a obține flancuri mai abrupte la procesul de comutație, tranzistorul trebuie să fie comandat cu impulsuri de amplitudine mare.

● Timpii de comutație mai depind și de durata impulsurilor de comandă. Doar atunci cînd durata impulsurilor de comandă este de cel puțin 10 ori mai mare decît timpii de comutație, timpii de comutație t_d , t_r , t_s și t_f rămîn constanți. La un impuls de comandă mai scurt crește în special timpul de stocare t_s . Dacă durata impulsului de comandă este comparabilă cu timpul de conectare ($t_d + t_r$), tranzistorul „nu are“ timpul necesar ca I_C să crească la valoarea sa maximă $I_C = \beta \cdot I_B$, iar tranzistorul nu ajunge la saturație și ca urmare procesul de comutație nu se desăvîrșește. Situația poate fi privită în două feluri: fie că tranzistorul este prea lent pentru comutarea unor impulsuri foarte scurte fie că procesul de comutație este prea rapid pentru tranzistorul dat.

2. TRANZISTOARE PNP DE MICĂ PUTERE

Pînă acum Uzina Electronica a utilizat, în cîteva circuite, tranzistoare din familia PNP, BC 177–BC 178–BC 179, care sînt complementare tranzistoarelor NPN BC 107–BC 108–BC 109 analizate în capitolul precedent.

Prin complementare înțelegem că toți parametrii de tensiune, curent, amplificare și frecvență sînt identici sau foarte apropiați și că doar conductibilitatea (NPN sau PNP) diferă, astfel că perechi complementare pot forma următoarele tranzistoare:

| | | |
|-----|---------------|-----|
| NPN | BC 107–BC 177 | PNP |
| „ | BC 108–BC 178 | „ |
| „ | BC 109–BC 179 | „ |

Evident că o pereche complementară BC 108–BC 178 trebuie formată cu tranzistoare din aceeași clasă de amplificare:

BC 108 B–BC 178 B.

Perechile complementare de astfel de tranzistoare nu se folosesc încă în etaje de audiofrecvență ci în unele circuite simetrice de comutație, cum ar fi de pildă oscilatorul de balciaj vertical din televizorul portabil „SPORT“.

Ca și la familia de tranzistoare NPN BC 107–108–109, tranzistoarele în capsulă metalică BC 177–178–179, au echivalente

în capsulă din plastic, identice sau aproape identice electric și din punct de vedere al utilizării:

45 V: BC 177=BC 157=BC 257=BC 307=BC 557=
=BC 204=BC 251

20 V: BC 178=BC 158=BC 258=BC 308=BC 558=
=BC 205=BC 252

20 V: BC 179=BC 159=BC 259=BC 309=BC 559=
=BC 206=BC 253.

Parametrii electrici sînt similari cu ai familiei NPN, adică:

A. Puterea disipată. $P_a=0,2-0,25$ W la $t_a=45^\circ\text{C}$.

B. Tensiuni și curenți valori-limită.

| Tipul tranzistorului PNP. | $-U_{CBO}$ | $-U_{CEO}$ | $-U_{EBO}$ | I_C | I_{CM} | I_{EM} | I_{CBO} (20V) | |
|--|------------|------------|------------|-------|----------|----------|-----------------|---------------|
| | | | | | | | 25°C | 125°C |
| BC 177, 157, 257, 307, 557, 204, BC 251 | 50 | 45 | 5 | 100 | 200 | 100 | 50 | 5 |
| BC 178, 158, 258, 308, 558, 205, BC 252 | 30 | 25 | 5 | 100 | 200 | 100 | 50 | 5 |
| BC 179, 159, 259, 309, 559, 206, BC 253 | 25 | 20 | 5 | 100 | 200 | 100 | 50 | 5 |
| B: A=125...260; B=240-500; VI=75-150. | V | V | V | mA | mA | mA | nA | μA |

C. Amplificarea de curent. La tranzistoarele PNP este în general mai mică decît la tranzistoarele NPN. Avem 3 clase de amplificare:

clasa VI: $\beta=100$ (tipic) cu dispersia între 75...150

clasa A: $\beta=220$ „ „ „ „ 125...260

clasa B: $\beta=330$ „ „ „ „ 240...500.

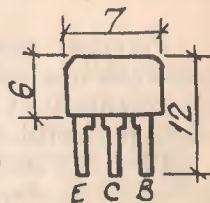
Foarte puține tranzistoare PNP de mică putere au clasa de amplificare C ($\beta=500-900$).

Amplificarea β a acestor tranzistoare este ca și la cele NPN: tipurile de tensiune ridicată au β mai mic iar cele de tensiune redusă au β mare:

BC 177, 157, 257, 307, 557, 204, 251: $\beta=75...250$
(clasa VI și clasa A)

BC 178, 158, 258, 308, 558, 205, 252: $\beta=75...500$
(clasele VI, A și B eventual C)

BC 179, 159, 259, 309, 559, 206, 253: $\beta=125...500$
(clasele A, B și C).



● Proprietățile de frecvență și comutație sînt ca și ale tranzistoarelor complementare de tip NPN.

Trebuie menționat că fabricarea tranzistoarelor planar epitaxiale de tip PNP este mai dificilă decît a tranzistoarelor NPN; de aceea tranzistoarele PNP sînt mai scumpe și au o răspîndire mai mică. Se folosesc de regulă numai acolo unde nu se poate întocmi circuitul dorit cu tranzistoare NPN.

● Alte tranzistoare planar epitaxiale de audiofrecvență și comutație.

În Cehoslovacia și U.R.S.S. se fabrică tranzistoare planar epitaxiale echivalente sau asemănătoare cu cele internațional standardizate prezentate pînă acum. Vom enumera unele dintre acestea în tabelul de mai jos iar conexiunile în figura de sus:

| Tipul | Tara sau firma | U | I | Conexiuni | Echivalent | Înlocuitor |
|----------|----------------|----|-----|-------------------|------------|------------|
| KC 507 | TESLA | 20 | 100 | 250...900 E, B, C | BC 107 | BC 171 |
| KC 508 | " | 20 | 100 | 250...900 E, B, C | BC 108 | BC 172 |
| KC 509 | " | 45 | 100 | 125...500 E, B, C | BC 109 | BC 173 |
| KT 315 A | URSS | 20 | 100 | 20...90 | — | BC 108 A |
| KT 315 | " | 15 | 100 | 70...350 | — | BC 108 A,B |
| KT 315 B | " | 30 | 100 | 20...90 | — | BC 107 A |
| KT 315 | " | 25 | 100 | 70...350 | — | BC 108 A,B |

B. TRANZISTOARE Si NPN ȘI PNP DE MEDIE PUTERE

1. FAMILIA BD135-BD136

Tehnologia planar-epitaxială face posibilă producerea unor tranzistoare de medie putere, asemănătoare ca performanțe cu tranzistoarele de medie putere cu germaniu AC 180 K—AC 181 K, destinate amplificatoarelor de AF cu puteri pînă la 3—4 W.

Spre deosebire de AC 180 K—181 K, familia BD 135—BD 136 are:

— tensiuni de lucru mai mari: 45—80 V față de 20—30 V;

Tabel de echivalențe pentru tranzistoare fabricate de diferite firme
americane, europene și japoneze

| Tipul | Firma | Țara | Echivalent | Înlocuitor |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| BC 113 BC 115 BC 118 | SGS " " | Italia " " | BC 237 B BC 237 A BC 237 A | BC 107 B BC 107 A BC 107 A |
| BC 129 BC 130 BC 131 | Telefunken " " | RFG " " | BC 237 BC 238 BC 239 | BC 107 BC 108 BC 109 |
| BC 132 BC 134 BC 135 | SGS " " | Italia " " | BC 237 A BC 237 B BC 237 A | BC 107 A BC 107 B BC 107 A |
| BC 170 | ITT | RFG | — | BC 108 |
| BC 181 | Texas | SUA | BC 307 A | BC 177 A |
| BC 182 BC 183 BC 184 | " " " | " " " | — BC 237 — | BC 107 BC 107 BC 107 |
| BC 186 BC 187 | Mullard " | Anglia " | BC 307 A BC 308 B | BC 177 A BC 178 B |
| BC 196 BC 197 BC 198 BC 199 | Telefunken " " " | RFG " " " | BC 258 — — — | BC 178 BC 107 BC 108 BC 109 |
| BC 212 BC 213 BC 214 | Texas " " | SUA " " | — BC 307 — | BC 177 BC 177 BC 177 |

Tabel (continuare)

| Tipul | Firma | Țara | Echivalent | Înlocuitor |
|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------------|--|
| BC 218 BC 220 BC 224 BC 231 | Iskra SGS Texas " | RSPJ Italia SUA " | BC 237 A BC 237 A BC 257 B — | BC 107 A BC 107 A BC 177 B BC 107 |
| BC 232 BC 234 BC 235 | " Iskra " | " RSPJ " | — BC 237 A BC 237 B | BC 107 BC 107 A BC 107 B |
| BC 250 BC 260 | ITT " | RFG " | BC 308 BC 178 | BC 178 BC 252 |
| BC 274 BC 275 BC 276 | SESCOSEM " " | Franța " " | BC 307 BC 308 BC 309 | BC 177 BC 178 BC 179 |
| BC 277 BC 278 BC 279 | " " " | " " " | BC 237 BC 238 BC 239 | BC 107 BC 108 BC 109 |
| BC 317 BC 318 BC 319 | Motorola " " | SUA " " | BC 237 BC 238 BC 239 | BC 107 BC 108 BC 109 |
| BC 320 BC 321 BC 322 | Motorola " " | SUA " " | BC 307 BC 308 BC 309 | BC 177 BC 178 BC 179 |
| BC 333 BC 334 | " " | " " | BC 238 BC 308 | BC 108 BC 178 |
| BC 335 BC 336 | " " | " " | BC 239 BC 309 | BC 109 BC 179 |

Tabel (continuare)

| Tipul | Fimar | Țara | Echivalent | Înlocuitor |
|--|--------------------|-------------------|--|--|
| BC 347 BC 348 BC 349 | " | " | BC 237 BC 237 BC 238 | BC 107 BC 107 BC 108 |
| BC 350 BC 351 BC 352 BC 354 BC 355 | " | " | BC 307 BC 307 BC 308 BC 308 BC 308 | BC 177 BC 177 BC 178 BC 178 BC 178 |
| BC 358 | " | " | BC 238 B | BC 108 B |
| BC 385 BC 386 | Texas " | " | BC 237 BC 238 | BC 107 BC 108 |
| BC 407 BC 408 BC 409 | Philips " " | Olanda " " | BC 237 BC 238 BC 239 | BC 107 BC 108 BC 109 |
| BC 413 BC 414 | Siemens " | $F < 2$ dB " | $U_{CEO} = 30$ V $U_{CEO} = 45$ V | (BC 109) (BC 109) |
| BC 415 BC 416 | " " | " " | $U_{CEO} = 30$ V $U_{CEO} = 45$ V | (BC 179) (BC 179) |
| BC 417 BC 418 BC 419 | Compelec " " | Franța " " | BC 307 BC 308 BC 309 | BC 177 BC 178 BC 179 |
| BC 437 BC 438 BC 439 | Hitachi " " | Japonia " " | BC 237 BC 238 BC 239 | BC 107 BC 108 BC 109 |

Tabel (continuare)

| Tipul | Firma | Țara | Echivalent | Înlocuitor |
|----------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| BC 467 BC 468 BC 469 | " " " | " " " | BC 167 BC 168 BC 169 | BC 107 BC 108 BC 109 |
| BC 512 BC 513 BC 514 | Texas " " | SUA " " | BC 307 BC 308 BC 309 | BC 177 BC 178 BC 179 |
| BC 582 BC 583 BC 584 | " " " | " " " | BC 237 BC 238 BC 239 | BC 107 BC 108 BC 109 |
| 2 SA 499 2 SA 500 2 SA 501 | Toshiba " " | Japonia " " | BC 177 BC 178 BC 179 | BC 251 BC 252 BC 253 |
| 2 SA 549 2 SA 550 | Hitachi " | " | BC 178 BC 177 | BC 252 BC 253 |
| 2 SA 564 | Matsushita | " | BC 258 | BC 178 |
| 2 SC 16 2 SC 17 2 SC 18 | Toshiba " " | " " " | BC 107 A BC 107 A BC 107 A | BC 237 A BC 237 A BC 237 A |
| 2 SC 74 | " | " | — | BC 108 B |
| 2 SC 103 2 SC 104 2 SC 105 | " " " | " " " | BC 107 A BC 107 A BC 109 B | BC 237 A BC 237 A BC 109 B |
| 2 SC 170, 171 2 SC 318 | Fujitsu Matsushita | " " | BC 108 C BC 107 A | BC 238 A BC 237 A |

Tabel (continuare)

| Tipul | Firma | Țara | Echivalent | Înlocuitor |
|----------------------|------------|--------------|------------|------------|
| 2 SC 350 | Hitachi | " | BC 107 B | BC 237 B |
| 2 SC 361, 2, 3 | Toshia | " | BC 167 | BC 107 |
| KC 547 | Tesla | Cehoslovacia | BC 147 | BC 107 |
| KC 548 | " | " | BC 148 | BC 108 |
| KC 549 | " | " | BC 149 | BC 109 |
| 2 SC 368 | Toshiba | Japonia | BC 168 B | BC 108 B |
| 2 SC 369 | " | " | BC 169 C | BC 109 C |
| 2 SC 370, 1, 2, 3 | " | " | BC 167 | BC 107 |
| 2 SC 400 | " | " | BC 107 | BC 171 |
| 2 SC 528 | Hitachi | " | BC 168 A | BC 108 A |
| 2 SC 529 | " | " | BC 167 | BC 107 |
| 2 SC 530 | " | " | BC 167 | BC 107 |
| 2 SC 531 | " | " | BC 167 A | BC 107 A |
| 2 SC 533 | " | " | BC 167 A | BC 107 A |
| 2 SC 587 | Matsushita | " | BC 107 B | BC 171 B |
| 2 SC 619 | Mitsubishi | " | BC 168 A | BC 108 A |
| 2 SC 620 | " | " | BC 167 A | BC 107 A |
| 2 SC 710,1,2 | " | " | BC 167 A | BC 107 A |

— puterea disipată mai mare: max. 6 W față de max. 2,5 W;
 — frecvența de tăiere mult mai mare: >50 MHz față de 2 MHz
 — comportarea mai slabă la curenți I_C mari, deoarece amplificarea β scade pronunțat la curenți de peste 0,5 A.

— tensiune de saturație mai mare $U_{CE\text{ sat}} \approx 1$ V la $I_C=1$ A la BD 135—136 față de $U_{CE\text{ sat}}=0,35$ V la AC 180—181 (la $I_C=1$ A).

Tranzistoarele NPN sînt: BD 135, BD 137, BD 139 (cifră impară în simbol).

Tranzistoarele PNP sînt: BD 136, BD 138, BD 140 (cifră pară în simbol).

Formarea perechilor NPN—PNP se face la $U_{CE}=2$ V și $I_C=150$ mA, admițîndu-se o diferență maximă de 40% între amplificările de curent ale celor două tranzistoare.

$$\frac{B_1}{B_2} \leq 1,4$$

Cei mai mulți producători, fac astfel împerecherea încît tranzistorul PNP să aibă amplificarea mai mare iar cel NPN mai mică pentru ca la curenți mari (unde β la PNP scade mai pronunțat) amplificările să fie aproximativ egale.

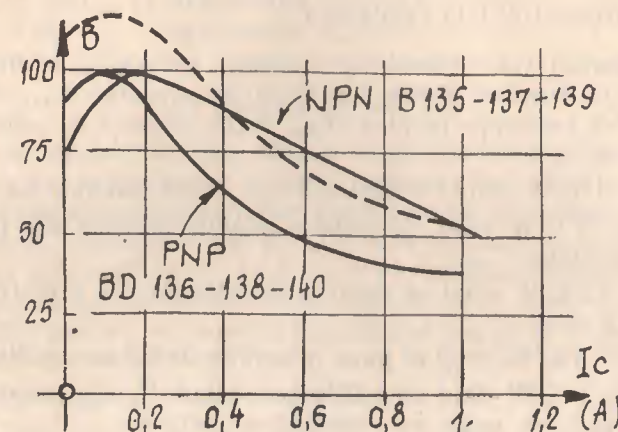


Fig. 16

Variația tipică a amplificării cu curentul este arătată în fig. 16. Se vede cum la tranzistoarele NPN BD 135—137—139, β scade de la cca 100, cît este la $I_C=0,15$ A, pînă la 50—60 la $I_C=0,8$ —1 A.

La tranzistoarele BD 136—138—140, $\beta=100$ la $I_C=0,15$ A și scade la 35—40 la $I_C=1$ A.

La aceste tranzistoare avem 3 clase de:

- clasa 6 cu β tipic= 60 (40...100)
- clasa 10 cu β tipic=100 (63...160)
- clasa 16 cu β tipic=160 (100...250):

Simbolul complet este de exemplu: BD 136/10, adică cu $\beta=63...160$ (tipic 100).

Puterea disipată a acestor tranzistoare este definită de 3 mărimi termice:

- temperatura maximă admisă a joncțiunii: $T_{j\text{ max}}=150^\circ\text{C}$;

- rezistența termică joncțiune-capsulă $R_{thjc}=10^{\circ}\text{C/W}$.
 - rezistența termică joncțiune-ambiant $R_{thja}=100^{\circ}\text{C/W}$.
- a) Cunoscând aceste valori, se poate determina ce putere poate disipa acest tranzistor fără radiator:

de ex: la temperatura ambiantă de 50°C , temperatura joncțiunii va atinge 150°C la o putere: $Pd = \frac{T_{j\max} - T_a}{R_{thja}} = \frac{150 - 50}{100} = 1 \text{ W}$.

b) Utilizînd tranzistorul cu radiator, trebuie să se țină seama de rezistența termică dintre joncțiune și capsulă $R_{thjc}=10^{\circ}\text{C/W}$, precum și de rezistența termică R_{thco} dintre capsulă și radiator, care este foarte mare:

- cca 1°C/W cînd tranzistorul este strîns, neizolat pe radiator.
- cca 9°C/W cînd se pune o izolație de $0,05 \text{ mm}$ (de mică) ca izolație.
- cca 13°C/W cînd se pune o izolație de $0,1 \text{ mm}$ (de mică) ca izolație.
- cca 15°C/W cînd se pune o izolație de $0,1 \text{ mm}$ polycarbonat.
- cca 5°C/W cînd se utilizează cazul B, dar suprafața de contact se unge cu vaselină siliconică.

După cum se vede din cifrele de mai sus, rezistența termică R_{thco} (de contact) dintre capsula plată a tranzistorului și radiator, este comparabilă cu rezistența ce se opune evacuării căldurii de la joncțiune pînă la piesa metalică de contact a capsulei.

Atenție! Colectorul este conectat la piesa metalică de contact a capsulei.

Să calculăm temperatura joncțiunii în cazul unui tranzistor BD 136 încărcat cu 2 W în curent continuu, tranzistorul fiind montat pe un radiator care are $R_{thR}=25^{\circ}\text{C/W}$ (rezistența termică a radiatorului), în cele 5 situații: A, B, C, D, E, temperatura ambiantă fiind 55°C . Se determină rezistența termică totală:

$$R_{th} = R_{thjc} + R_{thco} + R_{thR}$$

- $R_{th} = 10 + 1 + 25 = 36^{\circ}\text{C/W}$
- $R_{th} = 10 + 9 + 25 = 44^{\circ}\text{C/W}$
- $R_{th} = 10 + 13 + 25 = 48^{\circ}\text{C/W}$
- $R_{th} = 10 + 15 + 25 = 50^{\circ}\text{C/W}$
- $R_{th} = 10 + 5 + 25 = 40^{\circ}\text{C/W}$.

Din formula $P_d = \frac{T_j - T_a}{R_{th}}$ se obține: $T_j = T_a + R_{th} \cdot P_d$ rezultînd următoarele temperaturi T_j :

- în situația A: 127°C
- în situația B: 143°C
- în situația C: 151°C
- în situația D: 155°C
- în situația E: 135°C .

Din rezultatele de mai sus se trage concluzia că numai soluțiile A și E pot fi practic folosite, deoarece la celelalte soluții fie că se depășește fie că sîntem foarte aproape de temperatura maximă a joncțiunii. Radiatorul de 25°C/W este o placă de aluminiu gros de 2 mm și $S=20 \text{ cm}^2$. ($4 \times 5 \text{ cm}$); un radiator mai mare de ex. $8 \times 8 \text{ cm} = 64 \text{ cm}^2$ ar avea o rezistență termică de cca 10°C/W dar în condiții reale nu se folosește un radiator așa de mare decît pentru o pereche de tranzistoare (cazul unui etaj final de AF).

Concluzie: Tranzistoarele din familia BD 135—136, avînd o capsulă mică cu suprafață redusă de contact pe radiator ($0,5 \text{ cm}^2$), pot fi încărcate, în condiții practice — cu radiator și la ambianță de $25-30^{\circ}\text{C}$ — pînă la cel mult $3-4 \text{ W}$. La puteri disipate mai mari, datorită rezistenței mari de contact între capsulă și radiator, încălzirea joncțiunii poate depăși $140-150^{\circ}\text{C}$ ceea ce pune în pericol viața tranzistorului.

Utilizarea tranzistoarelor BD 135—136, în amplificatoarele de AF, este posibilă la tensiuni mai mari de alimentare ce pot merge pînă la $0,8-0,9$ din tensiunea U_{CEO} , adică pînă la cca:

| | | |
|------|----------------------------|--------------------------------|
| 40 V | pentru perechea BD 135—136 | care au $U_{CEO}=45 \text{ V}$ |
| 50 V | „ „ „ BD 137—138 | „ „ $U_{CEO}=60 \text{ V}$ |
| 70 V | „ „ „ BD 139—140 | „ „ $U_{CEO}=80 \text{ V}$. |

Pentru a obține distorsiuni mici la puteri mari, curentul de colector de vîrf nu va depăși în nici un caz 1 A , de dorit $I_{CV} = 0,7-0,8 \text{ A}$. Rezistența de sarcină (impedanța difuzorului) poate fi determinată cu relația:

$$R_s \approx \frac{0,45 U_{ALIM}}{I_{CV}}$$

de exemplu la o pereche BD 135—136, cu tensiune de alimentare de 24 V se va folosi un difuzor cu impedanța $R_s = 0,45 \cdot 24 \text{ V} / 0,7 \text{ A} \approx 16 \text{ ohmi}$. Puterea maximă a etajului final rezultă:

$$P_{ies} = \frac{(U_{ALM} - 2V)^2}{8 R_s} \approx \frac{484}{8 \cdot 16} \approx 3,75 \text{ W}$$

Puterea de ieșire cu 5—10% distorsiuni va fi de cca 3 W.

● Un exemplu de aplicație este etajul final de baleiaj vertical al televizorului portabil „Sport“, unde perechea complementară BD 135—BD 136, asigură un curent de deflexie pe verticală de cca 0,6 A_{vv}. Fiecare dintre tranzistoare lucrează deci cu un curent de vîrf de cca 0,3 A. Tensiunea de alimentare este de +25 V, iar sarcina etajului este bobina de deflexie verticală cu $R=16 \text{ ohmi}$ și $L=30 \text{ mH}$.

● În TV cu circuite integrate, un tranzistor BD 136 lucrează ca stabilizator paralel pe bara de +13 V. Atunci cînd etajul final de AF consumă puțin (la volum mic), tranzistorul BD 136 consumă diferența de curent.

Schema electrică de principiu a acestui stabilizator este dată în fig. 17.

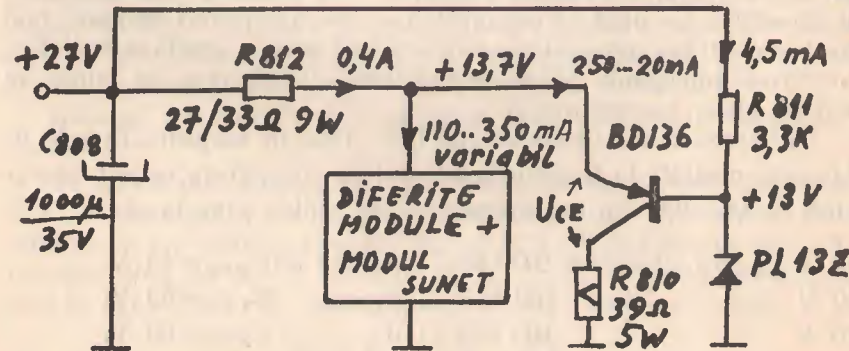


Fig. 17

De la bara de +28 V, prin R 811, se polarizează dioda zener PL 13 Z cu un curent de cca 4,5 mA, astfel că baza lui BD 136 se află la o tensiune stabilizată de 13 V. Cum tensiunea U_{BE} are valoarea de 0,7 V aproape constantă, rezultă că și tensiunea pe

emitor va fi stabilizată. Avînd un tranzistor PNP înseamnă că emitorul are 0,7 V în plus față de bază, deci 13,7 V. Tot de la bara de +27 V, prin rezistența 812, curge tot consumul modulelor alimentate la tensiunea de +13,7 V (selector, FI—VS, sunet, etc). Consumul modulului de sunet este variabil între 20 și 230 mA în funcție de volum și ar constitui o sarcină variabilă pentru etajul final de linii, ceea ce este de nedorit (pentru a nu influența lumina). Tranzistorul BD 136 conectat paralel cu toți consumatorii, preia diferența de curent atunci cînd etajul final de sunet consumă mai puțin. Curentul prin BD 136 variază între cca 20 mA și 250 mA. Dacă nu ar fi R 810, puterea disipată ar fi de $13,7 \times 0,25 \approx 3,5 \text{ W}$, adică destul de mult; cu R 810, puterea disipată de BD 136 nu depășește 1,3 W deoarece la curenți mari puterea se împarte între BD 136 și R 810.

2. FAMILIA BD 233-BD 235

Pentru a asigura o amplificare suficientă (50—70) la curenți de ordinul a 0,5—1 A, cum și o putere disipată mai mare, s-a creat o familie de tranzistoare de tip epibază, pentru amplificatoare dar și pentru circuite de comutație, superioară familiei BD 135 ... 136.

Grupa NPN cuprinde tranzistoarele BD 233—BD 235—BD 237

Grupa PNP „ „ BD 234—BD 236—BD 238

Față de familia BD 135 ... 140, aceste tranzistoare au următoarele avantaje:

- curentul $I_C = 2 \text{ A}$ față de 1 A;
- curentul $I_{CM} = 5 \text{ A}$ față de 1,5 A;
- tensiune de saturație: $< 0,6 \text{ V}$ la $I_C = 1 \text{ A}$ față de 1 V;
- rezistența termică joncțiune-capsulă: 5°C/W față de 10°C/W deci puterea disipată maximă 20 W față de 6 W.

Dezavantaje: f_T de 3—4 MHz față de 50—70 MHz la BD 135 ... 140.

● Tranzistoarele acestea sînt realizate tot în capsulă SOT 32, identică cu cea a seriei BD 135 ... 140.

Perechile complementare: BD 233—BD 234 cu $U_{CEO} = 45 \text{ V}$

BD 235—BD 236 cu $U_{CEO} = 60 \text{ V}$

BD 237—BD 238 cu $U_{CEO} = 80 \text{ V}$

se formează ca și la tranzistoarele BD 135 ... 140 la $I_C=0,15$ A și $U_{CE}=2$ V cu condiția ca $B_1/B_2 \leq 1,4$.

Caracterul variației amplificării β cu curentul este arătat în fig. 18.

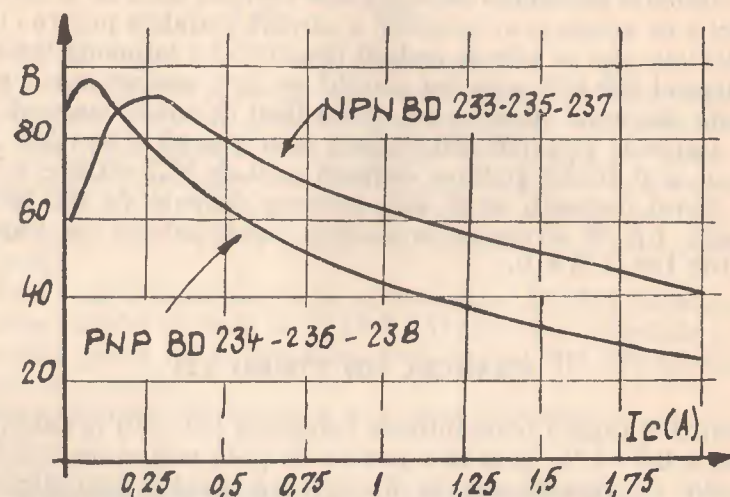


Fig. 18

De aici se vede că o împerechere avantajoasă este atunci când tranzistorul PNP are la $I_C=0,15$ A o amplificare cu 20–25% mai mare decât tranzistorul NPN, în scopul ca la curenți peste 0,5 A, caracteristicile $\beta=f(I_C)$ să se suprapună.

3 FAMILIA BD 433 ... 442

Ca o realizare excepțională în tehnologia epibază, trebuie prezentată o familie de tranzistoare în capsulă SOT 32 (ca și BD 135–136) dar care au $I_C=4$ A; $I_{CM}=7$ A; $R_{thjc} \leq 3,5^\circ\text{C/W}$ și $P_{d\infty}=30$ W:

Seria NPN cuprinde tipurile: BD 433, BD 435, BD 437,

BD 439, BD 441

Seria PNP „ „ BD 434, BD 436, BD 438,

BD 440, BD 442

Parametrii principali sînt arătați în tabelul de mai jos:

| | | BD433 | BD435 | BD437 | BD439 | BD441 | |
|------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| | $U_{CBO}=U_{CEO}$ | 22 | 32 | 45 | 60 | 80 | V |
| | U_{EBO} | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | V |
| | I_C | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | A |
| | I_{CM} | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | A |
| β | $U_{CE}=5$ V $I_C=10$ mA | >40 | >40 | >30 | >20 | >15 | |
| β | $U_{CE}=1$ V $I_C=0,5$ A | >85 | >85 | >85 | >40 | >40 | |
| β | $U_{CE}=1$ V $I_C=2$ A | >50 | >50 | >40 | >25 | >15 | |
| $I_B=0,2$ A | $I_C=2$ A $U_{CE sat}$ | >0,5 | >0,5 | >0,6 | >0,8 | >0,8 | V |
| $T_j=45^\circ\text{C}$ | I_{CBO} la U_{CBO} | >0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | mA |

| | | BD434 | BD436 | BD438 | BD440 | BD442 | |
|------------------------|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| | $U_{CBO}=U_{CEO}$ | –22 | –32 | –45 | –60 | –80 | V |
| | U_{EBO} | –5 | –5 | –5 | –5 | –5 | V |
| | I_C | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | A |
| | I_{CM} | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | A |
| β | $U_{CE}=-5$ V $I_C=10$ mA | >40 | >40 | >30 | >20 | >15 | |
| β | $U_{CE}=-1$ V $I_C=0,5$ A | >85 | >95 | >85 | >40 | >40 | |
| β | $U_{CE}=-1$ V $I_C=2$ A | >50 | >50 | >40 | >25 | >15 | |
| $I_B=0,2$ A | $I_C=2$ A $U_{CE sat}$ | <0,5 | <0,5 | <0,6 | <0,8 | <0,8 | V |
| $T_j=45^\circ\text{C}$ | I_{CBO} la U_{CBO} | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | mA |

C. TRANZISTOARE SI NPN PENTRU ETAJE FINALE VIDEO

Etajul final video are sarcina de a amplifica semnalul video complex cu amplitudinea de 3—4 V_{vv} aplicat la intrare, pînă la o amplitudine de 90—100 V_{vv} . Semnalul video servește apoi pentru comanda cinescopului, fie pe catod, fie pe grila de comandă (g_1) a cinescopului. Aceasta deoarece, pentru un contrast foarte bun un cinescop de 110° și diagonala de 50—60 cm, necesită pentru comanda sa pe catod — ținînd seama și de dispersia caracteristicilor sale electrice — o tensiune video de 70—80 V, la care se adaugă 20—25% amplitudinea impulsurilor de stingere și sincronizare, ajungîndu-se la 90—100 V_{vv} . Ecartul de cca 100 V, o marjă de siguranță de 10% și partea neliniară a caracteristicilor în zona de saturație, face ca tensiunea de alimentare a etajului final video să fie de cca 150—180 V și ca urmare tranzistorul final video trebuie să reziste la o tensiune U_{CE} de 150—200 V.

Pe de altă parte, pentru a asigura o amplificare de 25—35 ori, la frecvența video de ordinul a 5 MHz, tranzistorul trebuie să aibă o frecvență de tăiere de cel puțin 10 ori mai mare ($f_T > 50$ MHz).

Știînd că rezistența de sarcină a unui etaj final video este de 4—5 $K\Omega$ iar tensiunea de alimentare de 150—200 V, rezultă că în funcționare tranzistorul final video este străbătut de curenți de ordinul a 15—30 mA. Dar curentul maxim de colector I_{CM} trebuie să fie de 2—3 ori mai mare, adică 50—100 mA. Mai este necesar ca între ieșirea și intrarea tranzistorului să existe o capacitate cît mai mică pentru a se asigura funcționarea stabilă la frecvențe înalte. Capacitatea de 2—5 pF, între colector și bază, asigură stabilitatea necesară. Rezumînd, se pot considera următorii parametri:

$$\begin{aligned} U_{CER} &= 150-200 \text{ V} \\ I_{CM} &= 50-100 \text{ mA} \\ f_T &= 50-100 \text{ MHz} \\ C_{bc} &\leq 5 \text{ pF} \\ P_d &= 1 \dots 3 \text{ W.} \end{aligned}$$

Realizarea acestor parametri (unii dintre ei contradictorii) este dificilă iar tehnologia tranzistoarelor cu structuri mici și de tensiune mare (200 V) este relativ complicată, chiar utilizînd procedeele planar.

În fig. 19 se arată caracteristica dinamică $I_C = f(U_{CE})$ în care se vede că tensiunea de saturație (de cot) este de cca 10 V la $I_C = 15$ mA și ajunge la 20 V cînd $I_C = 30-35$ mA. Pe caracteristică este trasată dreapta de sarcină pentru $R_s = 4 K\Omega$, ceea ce corespunde schemei

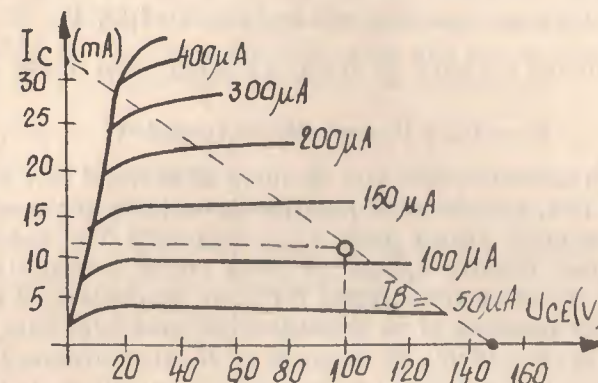


Fig. 19

$$A_U = \frac{R_s}{R_E} = \frac{4000}{150} = 26,7$$

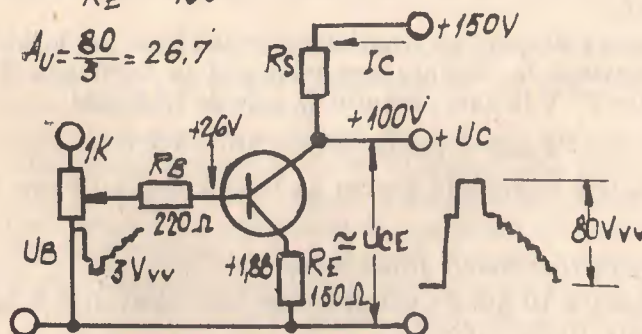


Fig. 20

electrice simplificate a unui etaj final video. Să determinăm unele mărimi ale acestui etaj tipic:

a) Curentul maxim de colector este $I_C = \frac{U_1 - U_{cot}}{R_s} = \frac{150 - 20}{4 K\Omega} = 32 \text{ mA}$.

b) La curentul $I_C=12,5$ mA, tensiunea pe colector va fi:

$$U_C = U_A - I_C \cdot R_S = 150 \text{ V} - 12,5 \text{ mA} \cdot 4 \text{ K}\Omega = 150 - 50 = 100 \text{ V}.$$

c) La curentul $I_C=12,5$ mA, tensiunea de emitor va fi:

$$U_E = I_C \cdot R_E = 12,5 \text{ mA} \cdot 0,15 \text{ K}\Omega = 1,88 \text{ V}.$$

d) Tensiunea pe bază va fi cu cca 0,7 V mai mare decît pe emitor:

$$U_B = U_E + U_{BE} = 1,88 + 0,7 \approx 2,6 \text{ V}.$$

Fără semnal video, curentul de lucru al etajului este maxim de cca 20—25 mA, stabilit prin polarizarea inițială, iar tensiunea de colector este mică, totuși peste U_{cot} , deci > 25 V. Cînd semnalul video complex negativ aplicat pe bază crește, curentul de lucru I_C va scădea deoarece tranzistorul NPN, se deschide cînd tensiunea pe bază este pozitivă și se închide cînd semnalul este negativ. Scăzînd I_C , scade căderea de tensiune pe R_S și ca urmare U_C crește. Se obține astfel pe colector un semnal video complex de polaritate schimbată al cărui amplitudine este maximă (vîrf la vîrf) atunci cînd SVC pe bază este maxim. La semnalul video maxim, curentul tranzistorului final este minim, de ordinul a 10 mA iar tensiunea continuă a colectorului este de cca 2/3 din tensiunea de alimentare.

e) Puterea disipată pe tranzistor este dată de produsul $I_C \cdot U_{CE}$ și este maximă în absența semnalului și la tensiunea 0,5 $U_A = 0,5 \cdot 150 = 75$ V la care curentul I_C este de 18,8 mA:

$$P_{d \max} = U_{CE} \cdot I_C = 75 \cdot 0,0187 = 1,4 \text{ W}$$

adică o putere însemnată pentru un tranzistor relativ mic (capsulă T039)

Tipuri de tranzistoare finale video

În cursul a 10 ani de perfecționare s-au dezvoltat 3 familii de tranzistoare finale video:

BF 177—BF 178—BF 179 cu U_{CEO} 100—160—225 V

$I_{CM} = 50$ mA $P_{d\infty} = 1,7$ W

BF 257—BF 258—BF 259 cu U_{CEO} 160—250—300 V

$I_{CM} = 100$ mA $P_{d\infty} = 3,5$ W

BF 457—BF 458—BF 459 cu U_{CEO} 160—250—300 V

$I_{CM} = 200$ mA $P_{d\infty} = 8$ W.

Primele două familii sînt în capsulă T0 39 și seamănă între ele, diferența este doar la curentul maxim de colector și la capacitatea de reacție. Familia BF 457-8-9 este în capsulă SOT 32 identică cu familia BD 135-136 și diferă de BF 257-8-9 prin curentul maxim admis și puterea disipată. Dealtfel cele trei familii se deosebesc esențial prin puterea disipată, dată mai jos în diferite condiții de răcire și la temperaturi obișnuite de exploatare.

| BF 177-8-9 | BF 257-8-9 | BF 457-8-9 | modul de răcire |
|------------|------------|------------|--|
| 1,7 W | 2,1 W | 2,8 W | cu radiator de 18 cm ² (30°C/W) |
| 1,2 W | 1,35 W | 1,5 W | cu radiator de 8 cm ² (60°C/W) |
| 0,6 W | 0,7 W | 1 W | fără radiator, la $t_a = 45^\circ\text{C}$ |
| 0,45 W | 0,55 W | 0,75 W | fără radiator, la $t_a = 70^\circ\text{C}$ |

După cum se vede, fără radiator tranzistoarele video pot disipa doar 0,5—0,8 W, joncțiunea încălzindu-se cu cca 100°C peste temperatura mediului ambiant.

Cu un mic radiator de cca 5 cm² strîns direct pe capsulă, tranzistorul video poate disipa 0,8—1 W. Aceasta este cazul de utilizare în TV portabil Sport unde $P_d \approx 0,8$ W. Pentru o mai bună răcire (pentru ca temperatura joncțiunii să nu treacă de 125°C) radiatorul trebuie să fie mai mare. Practic, puterea disipată maximă a unui tranzistor final video este cea din rîndul 1 al tabelului: 1,7 W la BF 178; 2,1 W la BF 258 și cca 2,8 W la BF 458, asigurîndu-se integritatea tranzistorului.

● Tranzistoarele BF 257-8-9 și BF 457-8-9 se utilizează și în alte etaje în TV, ca de exemplu în postul de preamplificator-defazor de linii pentru B.O. al TV cu tranzistorul final BU 205 (TV cu CI), sau în stabilizatoare de tensiune. De exemplu în etajul defazor de linii lucrează tranzistorul BF 258, ca în fig. 21, într-un amplificator de impulsuri cu sarcină inductivă constituită din transformatorul defazor cu raportul 25/1. Pe bază, tranzistorul

este comandat cu impulsuri dreptunghiulare de $28\mu s$ pozitiv și $36\mu s$ pauză. În colector se obține o tensiune cu același caracter dar de polaritate inversată și anume $28\mu s$ pauză și $36\mu s$ pozitiv. Tensiunea din secundarul transformatorului defazor va bloca timp de $28\mu s$ tranzistorul final BU 205 și îl va aduce în conducție timp de $36\mu s$.

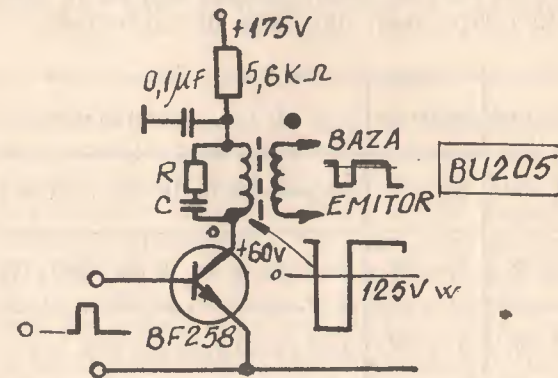


Fig. 21

Curentul mediu prin BF 258 este de 20 mA, iar tensiunea continuă pe colector de +60 V. Ca urmare, puterea disipată este de 1,2 W, tranzistorul necesitând un radiator de 6—8 cm², pentru a lucra „la rece” adică cu joncțiunea având sub 100°C.

În TV color, în amplificatoarele finale de culoare roșu (R), verde (V) și albastru (A), se vor utiliza tranzistoare BF 258-9 și BF 458-9.

Tranzistoare video străine

Tipuri europene mai vechi și tipuri americane și japoneze de mai largă circulație, ce pot fi înlocuite cu tipurile standardizate BF 178-179-257-258-259-457-458-459 sînt enumerate mai jos:

| | |
|----------------------|----------------------|
| BF 108 (SESCOSEM) | BF 119 (INTERMETALL) |
| BF 109 (VALVO) | BF 137 (ITT) |
| BF 110 (TELEFUNKEN) | BF 140 (SESCOSEM) |
| BF 111 (SIEMENS) | BF 156 (SGS) |
| BF 114 (SIEMENS) | BF 157 (SGS) |
| BF 117 (INTERMETALL) | BF 174 (SGS) |
| BF 118 (INTERMETALL) | BF 186 (PHILIPS) |

| | |
|-------------------------|-------------------------|
| BF 292 (SGS) | 2 SC 1059 |
| BF 294 (SGS) | 2 SC 1062 (NIPPON) |
| BF 297 (TEXAS) | 2 SC 1088 (MATSUSHITA) |
| BF 298 (TEXAS) | 2 SC 1089 |
| BF 299 (TEXAS) | 2 SC 1124 (SONY) |
| BF 305 (ATES) | 2 SC 1127 |
| BF 335 (PHILIPS, VALVO) | 2 SC 1168 (TOSHIBA) |
| BF 336 | 2 SC 1235 (SANYO) |
| BF 337 | 2 SC 1279 (NIPPON) |
| BF 411 (TELEFUNKEN) | 2 SC 1447 (TOSHIBA) |
| BF 412 | 2 SC 1505, 1506, 1507 |
| BF 413 | MJ 420, MJ 421 |
| BF 456 (TEXAS) | MJ 3201, MJ 3202 |
| 2 SC 58 ((MATSUSHITA) | MJE 340, MJE 341 |
| 2 SC 70 (TOSHIBA) | MJE 344, MJE 3738 |
| 2 SC 154 (HITACHI) | MJE 3739 ... (MOTOROLA) |
| 2 SC 470 (SONY) | PN 5964, PN 5965 |
| 2 SC 727 (FUJITSU) | SE 7001, SE 7002 |
| 2 SC 728 (FUJITSU) | SE 7015, SE 7016 |
| 2 SC 1012 (MATSUSHITA) | SE 7017, SE 7055 |
| 2 SC 1033 | SE 7056 ... (FAIRCHILD) |
| 2 SC 1056 (SONY) | |

D. TRANZISTOARE SI DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ

Pentru toate etajele care amplifică semnale relativ mici, cu frecvența începînd de la 0,15 MHz și pînă la 900 MHz, s-au dezvoltat tranzistoare de înaltă frecvență cu siliciu, tranzistoare ce se fabrică în tehnologia planară și planar-epitaxială.

Tranzistoarele de înaltă frecvență cu germaniu se fabrică în tehnologia mesa care permite obținerea unor tranzistoare cu proprietăți excepționale.

Tranzistoarele cu siliciu, pentru înaltă frecvență, sînt prezentate sinoptic în *tabela A* ce urmează acestui text și care cuprinde tipurile fabricate și utilizate în R.S.R.

Principalele etaje de înaltă frecvență din radioelectronica de larg consum, în care se folosesc tranzistoarele de I.F., sînt enumerate mai jos, cu frecvențele de lucru:

- 1 —amplificator de radiofrecvență pentru UL, UM, US . . .
f=0,15 —20 MHz

- 2—oscilator pentru UL, UM, US
f=0,6—21 MHz
- 3—mixer autooscilant pentru UL, UM, US
f=0,6—21 MHz
- 4—amplificator de frecvență intermediară MA(AFI—MA) . . .
f=455 KHz
- 5—amplificator de frecvență intermediară MF(AFI—MF) . . .
f=10,7 MHz
- 6—amplificator de frecvență intermediară sunet TV(AFI—S) .
f=6,5 MHz
- 7—amplificator de radiofrecvență MF(UUS)(RF—UUS)
f=64—108 MHz
- 8—oscilator (mixer) autooscilant de MF(UUS)
f=75—120 MHz
- 9—amplificator de frecvență intermediară video-sunet TV. . .
f=35 MHz
- 10—amplificator de RF pentru selectoare FIF(RF—FIF)
f=50—230 MHz
- 11—oscilator în selectoare FIF(osc. FIF)
f=87—262 MHz
- 12—mixer în selectoare FIF(mix. FIF)
f=50—260 MHz
- 13—amplificator de RF în UIF(RF—UIF)
f=470—860 MHz
- 14—mixer autooscilant în selectoare UIF(mix. UIF)
f=500—900 MHz
- 15—amplificatoare de antenă radio (UL, UM, US, UUS)
f=0,15—108 MHz
- 16—amplificatoare de antenă FIF(AA—FIF)
f=50—230 MHz
- 17—amplificatoare de antenă UIF(AA—UIF)
f=470—860 MHz
- 18—convertoare de canal UIF/FIF (CA—UIF/FIF)
f=50—900 MHz.

Tranzistoarele de înaltă frecvență se folosesc și în alte multe etaje din aparatura profesională de radiocomunicații.

În funcție de domeniul de utilizare, tranzistorului i se cer anumite caracteristici și performanțe specifice, în așa fel încât pentru etajul respectiv să nu se folosească tranzistoare nepotrivite. De aceea s-au creat *familii de tranzistoare*, distincte, din care rezultă de obicei prin sortare, după criterii bine stabilite, diferite *tipuri*.

Vom analiza pe rând familiile de tranzistoare după domeniul de utilizare. Întrucât un tranzistor este în general utilizabil în mai multe feluri de etaje, rezultă doar câteva familii cu proprietăți specifice, anume așa cum apar în tabela sinoptică A.

Tabelele A și B nu cuprind, bineînțeles, toate tranzistoarele de înaltă frecvență care se fabrică actualmente în lume, ci acele tranzistoare care sînt fabricate în țara noastră, acelea care se utilizează în produsele românești, precum și cele mai cunoscute tipuri pe plan european.

1. TRANZISTOARE UNIVERSALE DE RF ȘI FI-MA-MF

Etajele de înaltă frecvență din radioreceptoare MA și MA/MF precum și etajele de AFI-Sunet din televizoare, adică *primele 8 tipuri de etaje enumerate, pot fi realizate în condiții de înaltă calitate cu o singură familie de tranzistoare NPN: BF 214—BF 215.*

Caracteristica acestei familii sînt următoarele, date în ordinea importanței:

- a) capacitatea de reacție $C_{12e} = 0,5—1 pF$.
- b) frecvența de tăiere $f_T = 200—300 MHz$.
- c) tensiunea maximă $U_{CE}(U_{CB}) = 20—25 V$.
- d) curentul maxim de colector $I_{C max} = 15—30 mA$.
- e) puterea disipată $P_d max = 120—200 mW$.

Practic orice tranzistor NPN cu siliciu care asigură parametrii de mai sus, dar în special primii 2: C_{12e} și f_T , poate fi utilizat în cele 8 tipuri de etaje enumerate, fără modificarea polarizării, sau a acordului circuitelor, adică prin simpla înlocuire a tranzistorului.

Parametrii etajului respectiv nu se vor modifica esențial; pot apărea mici diferențe de amplificare, amplificare de conversie de ordinul a $\pm 2—3 dB$ sau ușoare modificări de caracteristici de selectivitate în etajele de FI datorită diferențelor mici ce totuși există de la tip la tip în ceea ce privește parametrii y .

● *Tranzistoarele BF 214 și BF 215 produse de IPRS, rezultă din aceeași fabricație. Prin sortare se face departajarea după amplificarea de curent B:*


BF 214 are $B = 150$ (tipic) cu dispersie între 90 și 330.

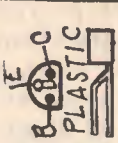
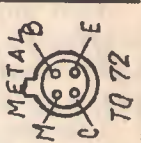
BF 215 are $B = 70$ (tipic) cu dispersie între 40 și 165.

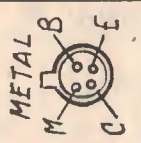
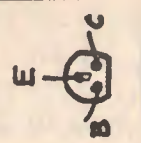
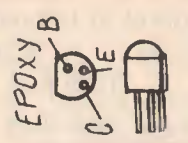

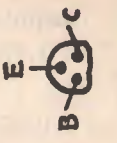
TABELA A

TRANZISTOARE DE ÎNALTĂ FRECVENȚĂ CU SILICIU

 $P_D = 130 \div 250 \text{ mW}$

| Domeniu de utilizare | Tip | Pol | f_T (MHz) | C_{12} (pF) | A_p (dB) | F (dB) | f (MHz) | β (static) | P_a (mW) $I_{aT} = 45^\circ\text{C}$ | U_{CE0} (V) | $I_{C \text{ max}}$ (mA) | Capsula |
|----------------------|------|-----|-------------|---------------|------------|----------|-----------|------------------|---|---------------|--------------------------|---|
| UIF | RF | NPN | 700 | 0,25 | 11 | 7 | 800 | 50(>15) | 130 | 20 | 20 |  METAL TO 72 |
| | MixO | NPN | 600 | 0,30 | 15 | 5 | 500 | 40(>15) | 130 | 20 | 20 | |
| FIF | RF | NPN | 500 | 0,35 | 17 | 3 | 200 | 30(>15) | 130 | 20 | 20 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------|--------|-----|-----|------|----|---|----|----------|-----|----|----|---|
| FI-VS(RAA) | BF 198 | NPN | 350 | 0,20 | 36 | 3 | 35 | 80(>27) | 350 | 30 | 25 |  PLASTIC TO 72 |
| | BF 199 | NPN | 550 | 0,30 | 38 | 6 | 35 | 120(>40) | 350 | 25 | 25 | |
| FI-VS(RAA) | BF 167 | NPN | 350 | 0,15 | 36 | 3 | 35 | 80(>35) | 130 | 30 | 25 |  METAL TO 72 |
| FI-VS(FIX) | BF 173 | NPN | 550 | 0,23 | 38 | 7 | 35 | 120(>40) | 200 | 25 | 25 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|-----|-----|------|----|-----|------|-------------|-----|----|----|---|
| FI MA/MF | BF 214 | NPN | 260 | 0,6 | 34 | 1,8 | 10,7 | 150(90-330) | 130 | 30 | 30 |  METAL TO 72 |
| RF UUS/LMS | BF 215 | NPN | 220 | 0,6 | 20 | 3,5 | 100 | 70(40-165) | 130 | 30 | 30 | |
| FI/MA-MF RF-IMS | BF 254 | NPN | 260 | 0,85 | 33 | 2,5 | 10,7 | 115(70-250) | 175 | 20 | 30 |  E |
| RF, osc, MIX UUS | BF 255 | NPN | 200 | 0,85 | 20 | 3,5 | 100 | 67(35-150) | 175 | 20 | 30 | |
| FI MA/MF | BF 233 | NPN | 275 | 0,75 | 33 | 2,5 | 10,7 | 40...350 | 160 | 20 | 50 |  EPOxy |
| RF-LMS | BF 234 | NPN | 250 | 0,75 | 33 | 2,5 | 10,7 | 90...330 | 160 | 30 | 50 | |
| RF, osc, Mix, UUS | BF 235 | NPN | 220 | 0,75 | 20 | 4 | 100 | 30...150 | 160 | 30 | 50 |  E |
| RF-UUS | BF 314 | NPN | 580 | 0,27 | 22 | 2 | 100 | 20...50 | 225 | 30 | 25 | |
| UNIV. FI/RF RAA | BF 240 | NPN | 430 | 0,27 | 36 | 2,5 | 10,7 | 67...220 | 250 | 40 | 25 |  E |
| UNIV. FI MA/MF | BF 241 | NPN | 400 | 0,27 | 35 | 2,5 | 10,7 | 36...125 | 250 | 40 | 25 | |

Amplificarea de curent B influențează și alți parametri:

— frecvența de tăiere f_T : la B mare, f_T mare
la B mai mic, f_T ceva mai mic

ca urmare BF 214 are f_T mai mare decât BF 215.

— rezistența de intrare r_{11} : B mare, I_B mic, r_{11} mare
B mai mic, I_B mai mare, r_{11} ceva mai mic

deci BF 214 are rezistență de intrare mai mare decât BF 215.

— zgomotul propriu F: B mic \rightarrow F mic; B mare, F mare.
ca urmare, BF 215 are zgomot mai mic decât BF 214.

Parametrii: f_T , r_{11} și F nu depind însă liniar de B; mai degrabă mărimea B dă o informație pentru compararea a două tranzistoare de același tip.

Bineînțeles că tranzistoarele din aceeași familie mai sînt sortate și după factorul de zgomot F, ca și după amplificarea de putere în aparate speciale de triere.

● Structuri de tranzistoare BF 214-215, încapsulate în plastic permit fabricarea unor tranzistoare mai economice, cu parametrii aproape identici. Rezultă astfel tranzistoarele BF 254 și BF 255, la care doar capacitatea de reacție este ceva mai mare: 0,85 pF față de 0,6 pF și aceasta din cauza capsulei de plastic.

● Structuri de BF 214-215 încapsulate în rășină epoxi permit obținerea tranzistoarelor BF 233—BF 234—BF 235. În această grupă:

BF 234 este egal cu BF 214

BF 235 este egal cu BF 215.

iar tipul BF 233 este, ca să zicem așa, „restul” de la sortare, cu o dispersie mai largă de B (40...350), foarte bun în oricare din cele 8 tipuri de etaje enumerate.

● Din tranzistoarele străine echivalente cu BF 214—BF 215 se pot reține tranzistoarele BF 184—BF 185 fabricate de Philips, Valvo, Mullard, Siemens, încapsulate în metal, precum și tipurile BF 194—BF 195 încapsulate în plastic (capsulă fit-lock prismatică).

Se poate considera că tranzistoarele NPN de mai jos sînt direct echivalente:

BF 214=BF 234=BF 254=BF 184=BF 194 (4 este caracteristic)

BF 215=BF 235=BF 255=BF 185=BF 195 (5 este caracteristic).

● Tranzistoarele universale de mai sus sînt utilizate și ca oscilatoare în selectoarele FIF, unde frecvența de oscilație maximă (canalul 12) este de 260 MHz. Se preferă tipul BF 214 (are f_T mai mare) care poate oscila de altfel pînă la frecvențe de ordinul a 500 MHz și aceasta pentru că frecvența maximă de oscilație este mult mai mare decât f_T :

$$f_{max\ osc}=2 \dots 3f_T.$$

● Pentru etajele de RF-UUS, unde problema sensibilității este direct legată de zgomotul propriu al tranzistorului, s-a elaborat un tranzistor planar-epitaxial mai perfecționat, cu capacitate de reacție mai mică și amplificare mai mare la 100 MHz:

BF 314 NPN (Siemens) $F=2d\ B(100\ MHz)$ $f_T \leq 550\ MHz$
 $C_{12B} \leq 0,13\ pF$.

● O familie nouă de tranzistoare universale de RF/FI, cu capacitate de reacție mică (0,33 pF) și cu f_T mare (400—450 MHz) este BF 240—BF 241 care pot fi utilizate pînă în gama de UUS, unde în condiții de adaptare la zgomot asigură un zgomot foarte mic: $F=1,6 \div 2\ dB$ la 100 MHz, $U_{CB}=10\ V$, $I_C=1\ mA$ și admitanța la intrare $Y_{C\ opt}=6,6\ ms-j3,3\ ms$.

● Tipul BF 240 avînd B mare este destinat etajelor de FI reglate prin RAA iar tipul BF 241 etajelor nereglate de FI cum și etajelor de RF L, M, S.

Același lucru trebuie menționat și pentru grupul BF 214/BF 215: B mare \rightarrow BF 214/234/254/184/194 pentru etaje reglate prin RAA
B mic \rightarrow BF 215/235/255/185/195 pentru etaje nereglate de RAA.

● Este cunoscut că în etajele de FI MA și MF reglajul RAA se face prin reducerea curentului de lucru al etajului, ceea ce provoacă reducerea pantei și ca urmare reducerea liniară a amplificării.

La tranzistoarele cu B mare, reglajul prin RAA este eficient, deoarece pentru aceeași reducere a tensiunii pe bază, scăderea amplificării de tensiune a etajului este mai mare.

În tabelul C se dau parametrii Y pentru cîteva tranzistoare din familia universală de RF—FI:

Panta de amplificare Y_{21} sau S exprimată în mS adică mA/V este aproape proporțională cu curentul de colector, pînă la 3—5 mA. Astfel dacă la 1 mA $S=35\ mA/V$, la 2 mA $S=65\ mA/V$ iar la 3 mA $S=90\ mA/V$.

Totodată la creșterea curentului, rezistența de intrare r_{11} și rezistența de ieșire r_{22} scad pronunțat (invers proporțional cu creșterea I_C). Amplificarea de putere a tranzistoarelor din familia

TABELA C

| Parametrul | | U=10 V; | | I _C =1 mA | | f=10,7 KHz | | Valoarea tipică (medie) |
|------------------|----|---------|--------|----------------------|------------------|------------|--------|----------------------------|
| | | BF 214 | BF 215 | BF 194 BF 254 | BF 195 BF 255 | BF 240 | BF 241 | |
| r _{11e} | KΩ | 3,5 | 2,2 | 3 | 2,1 | 2 | 1,5 | 2 KΩ |
| C _{11e} | pF | 20 | 17 | 23 | 27 | 16 | 16 | 20 pF |
| Y _{12e} | μs | 1,7 | 1,7 | 2,8 | 2,6 | 1 | 1 | C _{12e} =0,6 pF |
| φ _{12e} | ° | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90° |
| Y _{21e} | mS | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 mA/V |
| φ _{21e} | ° | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0° |
| r _{22e} | KΩ | 300 | 450 | 170 | 370 | 350 | 500 | 300 KΩ |
| C _{22e} | pF | 2 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,2 | 1,4 | 1,8 pF |

| Parametrul JJ | | U _{CE} =10 V; | | I _C =1 mA | | f=10,7 MHz | | Valoarea tipică |
|------------------|----|------------------------|--------|----------------------|--------|------------|--------|--------------------------|
| | | BE 214 | BF 215 | BF 254 | BE 255 | BE 240 | BF 241 | |
| r _{11e} | KΩ | 2,8 | 2 | 2,2 | 1,8 | 1,4 | 1,2 | 1,5 KΩ |
| C _{11e} | pF | 20 | 17 | 23 | 27 | 16 | 16 | 20 pF |
| Y _{12e} | μs | 35 | 35 | 60 | 60 | 20 | 20 | C _{12e} ≈0,6 pF |
| φ _{12e} | ° | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90 | 90° |
| Y _{21e} | mS | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 | 35 mA/V |
| φ _{21e} | ° | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5° |
| r _{22e} | KΩ | 130 | 220 | 170 | 225 | 320 | 430 | 200 KΩ |
| C _{22e} | pF | 2 | 1,7 | 1,6 | 1,6 | 1,2 | 1,4 | 1,8 pF |

| Parametrul | | U _{CE} =10 V; | | I _C =1 mA | | f=100 MHz | | Valoare tipică |
|-------------------|----|------------------------|--------|----------------------|--------|-----------|--------|----------------|
| | | BF 215 | BF 185 | BF 255 | BF 240 | BF 241 | BF 314 | |
| r _{11e} | Ω | 150 | 160 | 135 | 450 | 500 | 360 | 220 Ω |
| r _{11b} | Ω | 33 | 33 | 33 | 30 | 30 | 28 | 30 Ω |
| C _{12e} | pF | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 0,3 | 0,3 | 0,24 | 0,6 pF |
| C _{12b} | pF | 0,35 | 0,35 | 0,7 | 0,18 | 0,18 | 0,12 | 0,35 pF |
| Y _{21eb} | mS | 32 | 33 | 31 | 34 | 34 | 36 | 33 mA/V |
| r _{22eb} | KΩ | 12 | 80 | 80 | 17 | 20 | 100 | 50 KΩ |

considerată la frecvențe mari, apropiate de f_T este mai bună în schema cu baza la masă (BM) decât în schema cu EM (vezi fig. 22).

Astfel în timp ce la frecvențe sub $0,4 f_T$ amplificarea în schema EM este mult mai mare (25–30 dB), la frecvențe mai mari de $0,5 f_T$,

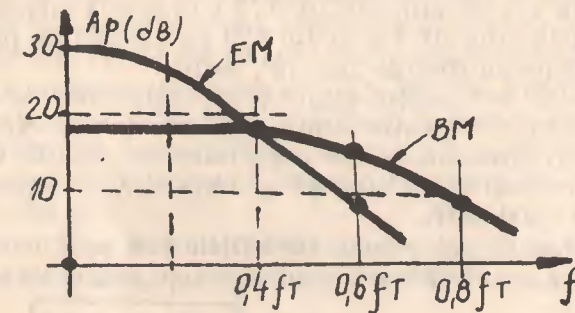


Fig. 22

amplificarea în schema EM scade la sub 12 dB, în timp ce schema BM mai asigură o amplificare de 8–10 dB la frecvențe apropiate de f_T .

Listă de echivalențe

Pentru găsirea unor eventuali înlocuitori, se enumeră mai jos tipuri de tranzistoare NPN universale de RF–FI, echivalente cu tranzistoarele BF 214–BF 215–BF 233–BF 234–BF 235–BF 254–BF 255:

| | | |
|-------------------|---------------------|-----------------------|
| BF 115 (Philips) | BF 175 (SGS) | BF 229 (Telefunken) |
| BF 121 (ITT) | BF 176 (SGS) | BF 230 (Telefunken) |
| BF 125 (ITT) | BF 189 (SESCOSEM) | BF 273 (SGS–ATES) |
| BF 153 (SGS) | BF 216 (Thorn) | BF 274 (SGS–ATES) |
| BF 158 (SGS) | BF 217 (Thorn) | BF 287 (SGS–ATES) |
| BF 160 (SGS) | BF 218 (Thorn) | BF 288 (SGS–ATES) |
| BF 162 (SGS) | BF 219 (Thorn) | BF 310 (Telefunken) |
| BF 163 (SGS) | BF 220 (Thorn) | BF 325 (Texas) |
| BF 164 (SGS) | BF 226 (Thorn) | |
| BF 165 (SGS) | BF 228 (Telefunken) | |
| BF 368 (Motorola) | BF 454 (SGS–ATES) | 2 SC 384 (Toshiba) |
| BF 369 (Motorola) | BF 455 (SGS–ATES) | 2 SC 398 (Toshiba) |
| BF 373 (Motorola) | BF 494 (Philips) | 2 SC 399 (Toshiba) |
| BF 384 (Texas) | BF 495 (Philips) | 2 SC 535 (Hitachi) |
| BF 385 (Texas) | BF 523 (Texas) | 2 SC 657 (Sony) |
| BF 394 (Motorola) | BF 594 (Texas) | 2 SC 658 (Matsushita) |
| BF 395 (Motorola) | BF 595 (Texas) | 2 SC 738 (Matsushita) |

2. TRANZISTOARE PENTRU FRECVENȚĂ INTERMEDIARĂ VIDEO-SUNET TV

Tranzistoarele BF 167 și BF 173 sînt larg răspîndite și bine cunoscute pe plan mondial de cca 10 ani.

În ultimii ani, tipurile BF 167/173 cu capsulă metalică au fost înlocuite cu tipurile BF 198 și BF 199 cu capsulă de plastic, care sînt echivalente cu tipurile „mamă”, astfel:

BF 198=BF 167 pentru etajul prim reglat de RAA

BF 199=BF 173 pentru etajele liniare de FI-VS.

Ambele tranzistoare au o capacitate de reacție C_{12e} foarte redusă, de ordinul a 0,2–0,3 pF și frecvențe de tăiere mari, de ordinul 400–600 MHz.

● La tranzistorul planar BF 167/BF 198 prin construcție și tehnologic s-a putut obține o scădere foarte pronunțată a amplifi-

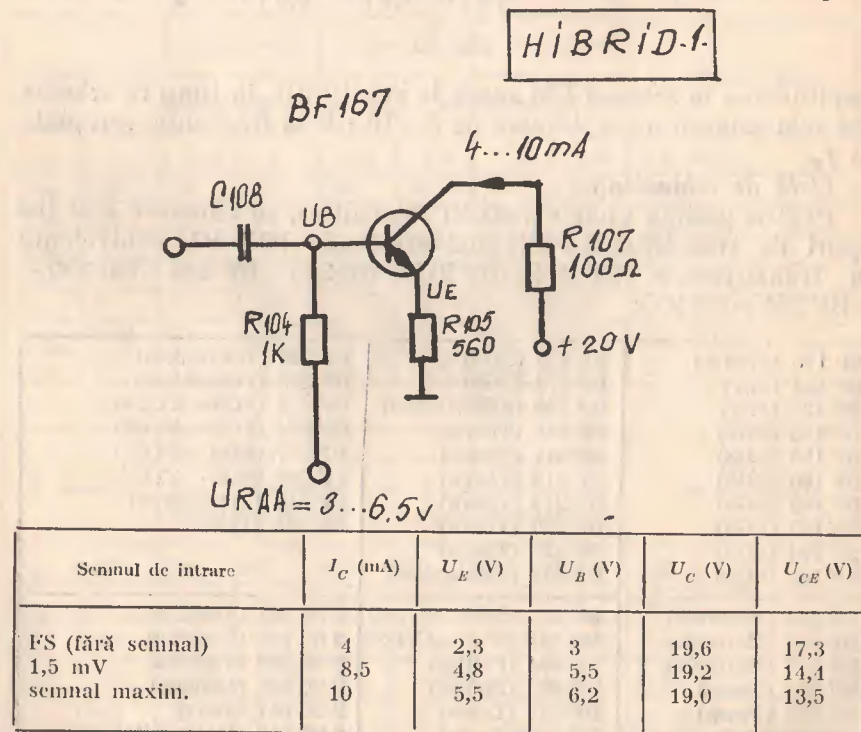


Fig. 23

cării atunci cînd curentul de colector crește de la 4–5 mA la 9–10 mA. Scăderea de amplificare poate atinge 55–60 dB (500–1000 ori), datorită degradării pantei și a frecvenței de tăiere, simultan cu variația rezistențelor de intrare și de ieșire.

Acest efect puternic de scădere a amplificării se obține mărind tensiunea pe baza tranzistorului, ceea ce forțează pe de o parte creșterea curentului I_C iar pe de altă parte scăderea tensiunii U_{CE} .

Reducerea amplificării tranzistorului BF 167 (BF 198) se datorește și creșterii curentului dar și scăderii tensiunii dintre colector și emitor. Reglajul de amplificare poate fi preponderent de curent sau preponderent de tensiune, aceasta depinzînd de schema electrică a etajului prim de FI.

Dacă se privesc schemele electrice din fig. 23 și 24, se poate distinge că în schema primului etaj de FI-VS din televizoarele

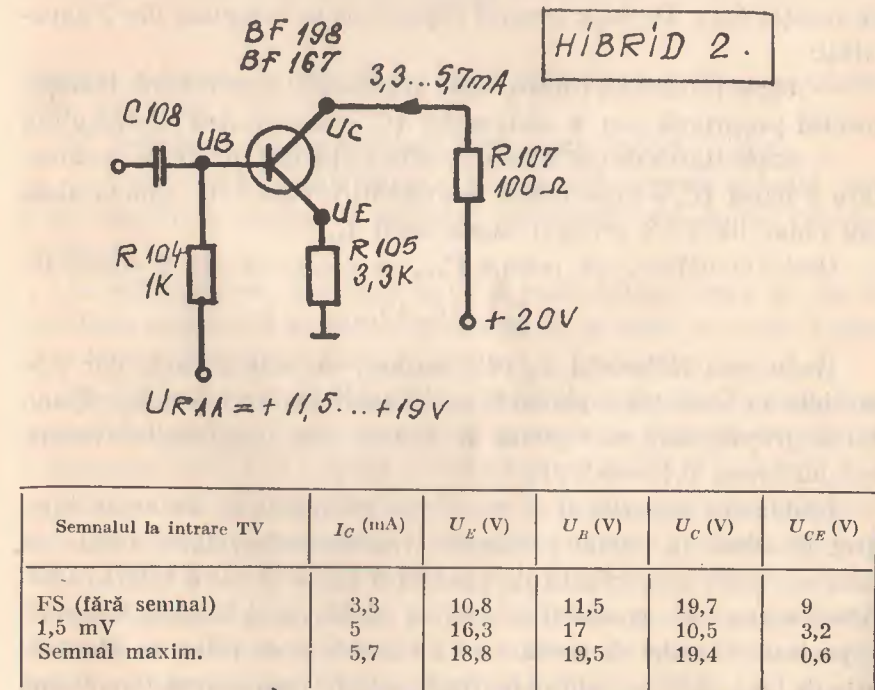


Fig. 24

seriei H₁, avem un reglaj de curent al colectorului între 4 mA la semnal slab (sau fără semnal) și cca 10 mA la semnal maxim.

La schema FI-VS al seriei H2 s-a adoptat un reglaj preponderent de tensiune: curentul variază doar cu cca 2 mA (între 3,3 și 5,7 mA) dar tensiunea U_{CE} variază între 9 V la semnal slab și aproape zero volți la semnal maxim.

Tranzistorul planar-epitaxial BF 173/BF 199 are o tensiune de saturație foarte mică (sub 1 V) și este anume construit pentru a asigura o mare tensiune de „excursie” deci tensiuni mari la ieșirea AFI.

Acest tranzistor are capacitatea de reacție foarte mică (0,23 — 0,3 pF) cum și o pantă mare (cca 130-150 mA/V la $I_C=7$ mA), ceea ce permite obținerea unei amplificări deosebit de mari.

Tranzistoarele planar-epitaxiale obișnuite, prezintă o capacitate de 0,6—0,7 pF între bază și colector, care constituie capacitatea de reacție C_{12E} . De fapt această capacitate se compune din 2 capacități:

- capacitatea C_{bc} (dintre bază și colector) a structurii tranzistorului propriuzis sau a sistemului (C_s =capacitatea sistemului);
- capacitatea de tip MOS datorată foliei metalizate de contactare a bazei (C_c =capacitatea contactării) care este comparabilă sau chiar de 2—3 ori mai mare decât C_s .

Deci capacitatea de reacție C_{12E} se compune din 2 elemente:

$$C_{12E} = C_s + C_c.$$

Reducerea influenței C_c (de contact) nu este ușoară, dar este posibilă în tehnologia planară, astfel încît să rămînă doar capacitatea propriuzisă, care poate fi redusă din construcția tranzistorului la cca 0,15—0,2 pF.

Reducerea capacității de reacție se realizează cu un ecran integrat (realizat în cursul producerii tranzistorului) între insula de folie metalică care constituie contactul bazei și zona colectorului. Acest ecran este conectat la emitor astfel că el anulează practic capacitatea insulei de contactare a bazei față de colector. Ecranul este de fapt un strat subțire de tip P obținut prin difuzie în volumul de material semiconductor de tip N al colectorului. Prezența

electrodului de ecranare „sparge” capacitatea supărătoare de tip MOS (Metal-Oxid-Semiconductor) în două capacități: una între bază și emitor, iar alta între colector și emitor, reducînd aproape la zero capacitatea parazită dintre colector și folia metalică de

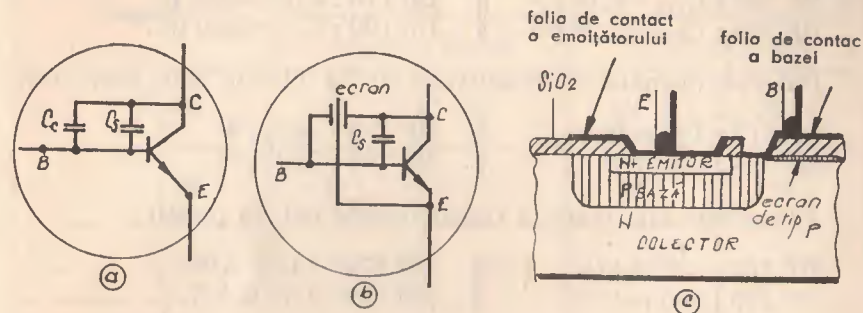


Fig. 25

contact a bazei. În fig. 25 se arată schema electrică a capacităților amintite:

- a) tranzistor planar obișnuit, fără ecran, avînd C_s și C_c .
- b) tranzistor cu ecran integrat (integrated screen); ecranul este legat electric la emitor și anulează capacitatea C_c dintre colector și bază.
- c) secțiune prin tranzistor, unde se vede stratul ecran de tip P sub folia metalizată de contactare a bazei și care în afara figurii este legată electric la folia de contact a emitorului.

● Întrucît ecranul integrat este un strat de tip P realizat în materialul de tip N al colectorului, acest ecran poate fi privit și ca o joncțiune PN, deci o diodă conectată între emitor și colector. Reprezentarea din fig. 26, chiar dacă nu este exactă, ajută la explicarea comportării aparent curioase a tranzistoarelor cu ecran integrat BF 167/BF 198 și BF 173/BF 199, la încercarea cu ohmmetrul. Astfel aplicînd ohmetrul cu plusul pe E și minusul pe C, un tranzistor obișnuit va indica ∞ (blocat) în timp ce la un tranzistor cu ecran intern, ohmmetrul va indica o rezistență de cca 100 Ω , cît este de fapt rezistența stratului ecran de tip P.

● Tranzistoarele în plastic BF 198 și BF 199 nu se deosebesc esențial de tranzistoarele cu capsulă metalică BF 167 și BF 173. Capacitatea de reacție este ceva mai mare, astfel:

BF 167 : $C_{12E}=0,15$ pF || BF 173 : $C_{12e}=0,23$ pF
 BF 198 : $C_{12E}=0,20$ pF || BF 199 : $C_{12e}=0,30$ pF.

Puterea disipată a tranzistoarelor în plastic este mai mare:

BF 167 : 130 mW || BF 173 : 260 mW
 BF 198 : 280 mW || BF 199 : 280 mW.

Panta este mai mare la tranzistoarele noi în plastic:

BF 167 : 95 mA/V || BF 173 : 145 mA/V
 BF 198 : 105 mA/V || BF 199 : 170 mA/V.

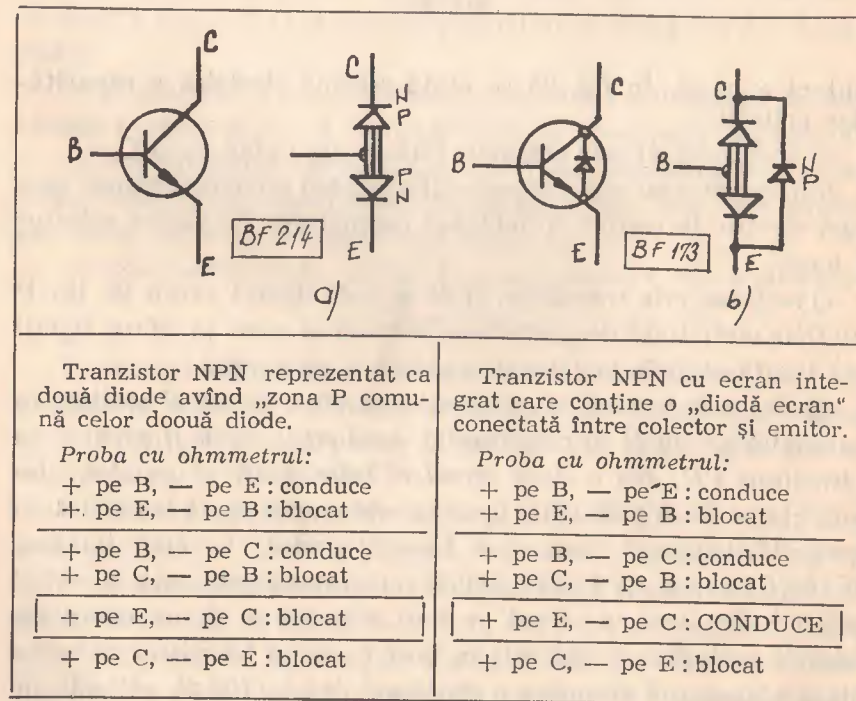


Fig. 26

● Parametrii principali Y ai tranzistoarelor de FI-VS sînt dați în tabelul de mai jos:

| Parametrul | | BF 167 | BF 198 | BF 173 | BF 199 |
|-----------------|------------|--------------------|----------|-------------------|-----------|
| | | 10 V, 4 mA, 35 MHz | | 10 V, 7 mA 35 MHz | |
| r_{11e} | Ω | 450 | 310 | 220 | 220 |
| C_{11e} | pF | 45 | 36 | 45 | 45 |
| C_{12e} | pF | 0,15 | 0,20 | 0,23 | 0,30 |
| Y_{21e} | mA/V | 95(>70) | 105(>80) | 145(>115) | 170(>130) |
| φ_{21e} | ° | -23 | -20 | -22 | -22 |
| r_{22e} | K Ω | 33 | 20 | 15 | 12 |
| C_{22e} | pF | 1,2 | 1,3 | 2,1 | 1,8 |
| $A_{p\ opt}$ | dB | 42 | 42 | 42,5 | 43 |

După cum se vede, tranzistoarele în plastic nu mai au piciorușul de masă. Ordinea terminalelor permite înlocuirea ușoară a tranzistoarelor cu capsulă metalică.

Înlocuirea tranzistorului BF 173 prin BF 199 nu pune nici o problemă. Înlocuirea tranzistorului BF 167 prin BF 198, are un ușor efect de amortizare asupra circuitului acordat din colectorul său și o modificare a caracteristicii de RAA; ambele efecte nu conturbă selectivitatea, stabilitatea sau calitatea imaginii.

Echivalențe

Înlocuirea tranzistoarelor enumerate mai jos prin tipurile BF 167-198 sau BF 173-199 este posibilă în 99% din cazuri.

Nu se poate însă garanta întotdeauna înlocuirea tranzistoarelor BF 167-198 sau BF 173-199 cu tranzistoarele de mai jos:

| Tranzistoare cu RAA(BF 167/198) | Tranzistoare cu I_C fix(BF 173/199) |
|---------------------------------|---------------------------------------|
| BF 127 (ITT) | BF 123 (ITT) |
| BF 196 (Valvo, Philips) | BF 158 (SGS) |
| BF 207 (Cosem) | BF 159 (SGS) |
| BF 225 (Texas) | BF 168 (Telefunken) |
| BF 251 (SGS-ATES) | BF 197 (Valvo, Philips) |
| BF 329 (ATES) | BF 208 (COSEM) |
| BF 367 (Motorola) | BF 223 (Telefunken) |
| BF 596 (Texas) | BF 224 (Texas) |
| 2 SC 250 (Fuji) | BF 227 (Telefunken) |
| 2 SC 377 (Toshiba) | BF 237 (Texas) |
| 2 SC 563 (Matsushita) | BF 260 (ATES) |
| 2 SC 785 (Toshiba) | BF 271 (SGS-ATES) |
| 2 SC 928 (Sonyo) | BF 371 (Motorola) |
| 2 SC 1187 (Nipon Electric) | 2 SC 658 (Matsushita) |

3. TRANZISTOARE DE FIF ȘI UIF

Pentru domeniul de frecvență de 200—900 MHz s-au elaborat tranzistoare speciale cu *frecvență de tăiere mare, capacitate de reacție mică și zgomot cât mai redus* la frecvențele acestui domeniu.

Există tranzistoare PNP și NPN cu siliciu sau germaniu destinate folosirii în selectoarele de canale FIF (50—230 MHz) și UIF (470—860 MHz).

În țara noastră se fabrică tranzistoare NPN de tip planar, cu siliciu și anume *familia BF 180, BF 181 și BF 200*, care rezultă dintr-o singură fabricație, departajarea făcându-se prin sortare.

Caracteristica importantă a acestor tranzistoare o constituie posibilitatea reglării amplificării de putere și tensiune prin varierea curentului de colector

La curent de 2...4 mA aceste tranzistoare au amplificarea maximă; pe măsura creșterii curentului, amplificarea tranzistorului scade, astfel că la $I_C=8-10$ mA, scăderea de amplificare este cu 30—35 dB (30—50 ori mai mică).

Scăderea amplificării este cu atât mai pronunțată cu cât frecvența este mai mare, așa cum se arată în fig. 27/a, în care se prezintă curbele de scădere a amplificării pe măsura creșterii curentului

$A_p=f(I_C)$. Cele 3 curbe reprezintă variația amplificării la 3 frecvențe tipice 100, 200, și 600 MHz. Se vede că pentru a reduce cu 20 dB (de 10 ori) amplificarea primului etaj din selectorul de canale, la $f=100$ MHz este necesară creșterea lui I_C pînă la 8,7 mA în

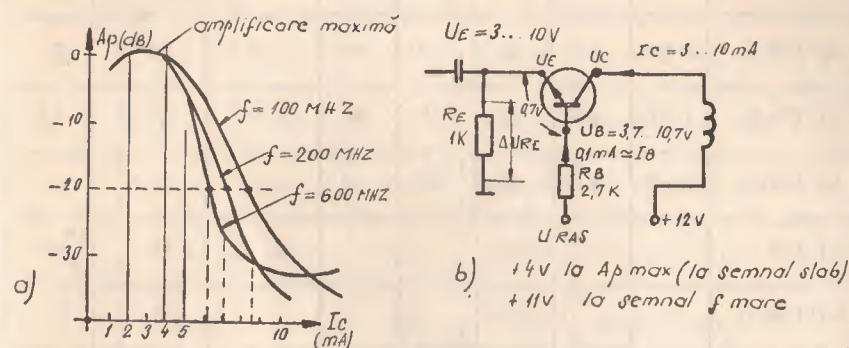


Fig. 27

timp ce cu o creștere la 7,3 mA, amplificarea scade de 10 ori la $f=200$ MHz. În fig. 27/b se arată schema de c.c. a primului etaj din selectorul de FIF. Curentul de colector (emitor) produce o cădere de tensiune pe rezistența $R_E=1$ K Ω , astfel că emitorul este la tensiunea de 3 V cînd $I_C \approx I_E=3$ mA. Tensiunea bazei este cu 0,7 V pozitivă față de emitor, deoarece este tranzistor NPN. Pe rezistența R_B de 2—3 K Ω , mai apare o cădere de tensiune de cca 0,3 V produsă de curentul bazei I_B care este în medie de 0,1 mA

$$U_E = I \cdot R_E \quad U_{CE} = U_C - U_E$$

$$U_B = U_E + U_{BE} \quad I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$U_{RAA} = U_B + 0,3 \text{ V}$$


La semnal mic avem: $I_C=3$ mA, $U_E=3$ V, $U_B=3,7$ V, $U_{CE}=9$ V, $U_{RAA}=+4$ V.

La semnal mare avem: $I_C=10$ mA, $U_E=10$ V, $U_B=10,7$ V, $U_{CE}=2$ V, $U_{RAA}=+11$ V.

● Reglajul de amplificare se bazează pe efectul de autoaglomerare a curentului de emitor, din cauza suprafeței foarte mici a emitorului. Densitatea mare de curent în baza emitorului, pro-

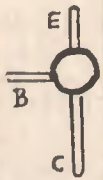

| TIP | POL | f_T (MHz) | LIMITE MAXIME | | | C_{re} (pF) | A_p (dB) | F (dB) |
|----------|-----|----------------|------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|-------------|
| | | | U_{CE0} (V) | I_C (mA) | P_d (mW) | | | |
| AF 106 | PNP | 220 | 25 | 10 | 60 | 0,45 | 16 | 7 |
| AF 109 R | PNP | 400 | 20 | 10 | 60 | 0,25 | 16,5 | 4,5 |
| AF 139 | PNP | 500 | 20 | 10 | 60 | 0,25 | 17,5 | 4 |
| AF 139 | | | | | | | 15 | 5,2 |
| AF 139 | | | | | | | 11 | 7 |
| AF 239 | PNP | 650 | 20 | 15 | 60 | 0,23 | 21,5 | 3 |
| AF 239 | | | | | | | 18 | 4 |
| AF 239 | | | | | | | 14 | 5,2 |
| AF 239 S | PNP | 780 | 20 | 15 | 60 | 0,2 | 22 | 2,7 |
| AF 239 S | | | | | | | 19 | 3,6 |
| AF 239 S | | | | | | | 15 | 4,7 |
| AF 239 S | | | | | | | 14 | 5,8 |
| AF 240 | PNP | 500 | 15 | 10 | 60 | 0,26 | 13 | 6,5 |
| AF 267 | PNP | 780 | 20 | 10 | 60 | 0,4 | 18,5 | 4 |
| AF 267 | | | | | | | 14 | 6 |
| AF 267 | | | | | | | 12 | 6 |

TABELA B

| la | | | | Terminale | FUNCTIA |
|-----------------|---------------|-----|------------------------|---|------------------|
| U_{CE} (V) | I_C (mA) | MHz | R_S (K Ω) | | |
| 10 | 3 | 200 | 0,9 | EBCM | A, Mix, Osc, FIF |
| 10 | 2 | 200 | 0,9 | EBCM | Ampl, RAA, FIF |
| 10 | 2 | 200 | 0,9 | EBCM | Amp., RAA, FIF |
| 10 | 1,5 | 500 | 1,4 | EBCM | Mix, osc, UIF |
| 10 | 1,5 | 800 | 1,4 | EBCM | Ampl, RAA, UIF |
| 10 | 2 | 200 | 2,5 | EBCM | Ampl, RAA, FIF |
| 10 | 2 | 500 | 2 | EBCM | Mix, osc, UIF |
| 10 | 2 | 800 | 2 | EBCM | Ampl, RAA, UIF |
| 10 | 2 | 200 | 2,5 | EBCM | Ampl. RAA, FIF |
| 10 | 2 | 500 | 2 | EBCM | Mix, osc. UIF |
| 10 | 2 | 800 | 2 | EBCM | Ampl, RAA, UIF |
| 10 | 2 | 900 | 2 | EBCM | " " " |
| 10 | 2 | 800 | 2 | EBCM | Mix. osc. UIF |
| 10 | 2 | 500 | 2 |  | Mix. osc. UIF |
| 10 | 2 | 900 | 2 | | Ampl. RAA, UIF |
| 10 | 2 | 900 | 0,5 | | Ampl. antenă UIF |

| TIP | POL | f_T (MHz) | LIMITE MAXIME | | | C_{re} (pF) | A_p (dB) | F (dB) |
|----------|-----|----------------|------------------|---------------|---------------|------------------|---------------|-------------|
| | | | U_{CE0} (V) | I_C (mA) | P_d (mW) | | | |
| AF 279 | PNP | 780 | 15 | 10 | 60 | 0,42 | 16 | 5 |
| AF 280 | PNP | 550 | 15 | 10 | 60 | 0,42 | 14 | 7 |
| AF 367 | PNP | 800 | 20 | 10 | 60 | 0,4 | 12 | 6 |
| AF 369 | PNP | 550 | 15 | 10 | 60 | 0,4 | 10,5 | 6,5 |
| AF 379 | PNP | 1 250 | 20 | 20 | 100 | — | 18 | 5 |
| BF 272 A | PNP | 850 | 40 | 20 | 200 | 0,3 | 20 | 2,5 |
| BF 272 A | PNP | | | | | | 19 | 3 |
| BF 272 A | PNP | | | | | | 15 | 3,5 |
| BF 316 A | PNP | 600 | 40 | 20 | 200 | 0,3 | 12 | 5 |
| BF 509 | PNP | 700 | 40 | 20 | 200 | 0,5 | 18 | 1,8 |
| BF 506 | PNP | 400 | 40 | 20 | 200 | 0,5 | 17 | 2,5 |
| BF 479 | PNP | 1 400 | 35 | 20 | 200 | — | 18 | 3,5 |
| BF 679 | PNP | 1 000 | 35 | 15 | 200 | 0,3 | 15 | 3,5 |
| BF 680 | PNP | 650 | 35 | 15 | 200 | 0,3 | 14 | 5,5 |

TABELA B (continuare)

| 1a | | | | Terminale | FUNCTIA |
|-----------------|---------------|-----|------------------------|---|--------------------|
| U_{CE} (V) | I_C (mA) | MHz | R_s (K Ω) | | |
| 10 | 2 | 800 | 2 |  | Ampl. RAA, UIF |
| 10 | 2 | 800 | 2 | | Mix. osc. UIF |
| 10 | 2 | 900 | 0,5 | | Ampl. RAA, UIF |
| 10 | 2 | 900 | 0,5 | | Mix. osc. UIF |
| 8 | 8 | 800 | 2 | EBCM | AMOL. LIN. FIF/UIF |
| 10 | 3 | 200 | 2 | EBCM | Ampl. RAA, FIF |
| 10 | 3 | 500 | 2 | EBCM | Ampl. RAA, UIF |
| 10 | 3 | 800 | 2 | EBCM | Ampl. RAA, UIF |
| 10 | 3 | 800 | 2 | EBCM | Mix. osc. UIF |
| 10 | 3 | 200 | 2 | EBC | Ampl. RAA, FIF |
| 10 | 3 | 200 | 2 | EBC | Mix. osc. FIF |
| 10 | 10 | 800 | 2 |  | AMPL. LIN. FIF/UIF |
| 10 | 3 | 800 | 2 | | AMPL. RAA, UIF |
| 10 | 3 | 800 | 2 | | Mix. osc. UIF |

voacă scăderea frecvenței de tăiere de cca 10 ori cum și reducerea puternică a rezistenței de ieșire r_{22} . Ca și la tranzistorul BF 167, reducerea tensiunii U_{CE} contribuie de asemenea la reducerea amplificării; reducerea tensiunii între colector și emitor are loc pe seama creșterii potențialului emitorului de la 3 V la cca 10 V în timpul procesului de reglare.

● Departajarea celor 3 tranzistoare se face după criteriul amplificării de putere la frecvența de 800 MHz. Cele mai bune tranzistoare ieșite, se triază apoi după factorul de zgomot F, rezultând tipul BF 180 care urmează a fi folosit ca amplificator de RF în selectoarele de UIF. Cele ale căror zgomot este ceva mai mare, devin fie tranzistoare BF 181 destinate etajului mixer/autooscilant al selectorului de UIF, fie tranzistoare BF 213 pentru acelaș post.

Tipul BF 200 este „mezinul“ familiei, putînd lucra foarte bine la frecvențele FIF (max 230 MHz adică de cca 3 ori mai puțin decît f_T).

Parametrii de comparație a acestor 3 tranzistoare sînt date în tabelul A (de la pagina 64). Panta, care este parametrul cel mai interesant la frecvențe mari, este dat în tabelul de mai jos:

| | (MHz) | $ Y_{21b} $ mA/V | | |
|---|-------|------------------|--------|--------|
| | | BF 180 | BF 181 | BF 200 |
| Punctul de funcționare $U_{CB}=10$ V $I_C = 2$ mA | 50 | 60 | 58 | 56 |
| | 200 | 55 | 54 | 52 |
| | 500 | 40 | 37 | 33 |
| | 800 | 30 | 27 | 24 |

Alte tranzistoare de înaltă frecvență (FIF-UIF)

Pentru ca tehnicienii să poată avea o vedere de ansamblu asupra celor mai bune tranzistoare europene pentru UIF și FIF, am întocmit tabela B, în care sînt prezentate cu parametrii comparabili, o serie mare de tipuri. Este vorba despre tranzistoare PNP cu germaniu și tranzistoare PNP și NPN cu siliciu. Performanțele sînt specificate pentru frecvența maximă și condițiile optime de utilizare.

Dintre tranzistoarele de FIF și UIF străine (din aparatura japoneză TV) pot fi enumerate următoarele:

Înlocuibile prin AF 106:

2 SA 54, 2 SA 239, 2 SA 240
2 SA 242, 2 SA 243, 2 SA 246
2 SA 247, 2 SA 260, 2 SA 261
2 SA 262, 2 SA 263, 2 SA 264
2 SA 265, 2 SA 292, 2 SA 293
2 SA 294, 2 SA 343, 2 SA 344
2 SA 345, 2 SA 346, 2 SA 347
2 SA 348, 2 SA 362, 2 SA 377
2 SA 378, 2 SA 401, 2 SA 403
2 SA 434, 2 SA 435, 2 SA 436
2 SA 437, 2 SA 438, 2 SA 463
2 SA 476, 2 SA 506, 2 SA 507
2 SA 508, 2 SA 525.

Înlocuibile prin AF 139:

2 SA 161, 2 SA 162, 2 SA 163
2 SA 164, 2 SA 165, 2 SA 166
2 SA 229, 2 SA 230, 2 SA 238
2 SA 244, 2 SA 245, 2 SA 253
2 SA 288, 2 SA 289, 2 SA 290
2 SA 308, 2 SA 309, 2 SA 310
2 SA 419, 2 SA 420, 2 SA 421
2 SA 422, 2 SA 430, 2 SA 431
2 SA 432, 2 SA 440, 2 SA 447
2 SA 454, 2 SA 455, 2 SA 456

E. TRANZISTOARE ȘI DE PUTERE PENTRU AUDIOFRECVENȚĂ ȘI BALEIAJ

Într-un buletin tehnic anterior s-a prezentat tehnologia tranzistoarelor de putere cu siliciu. Cele patru familii tehnologice de tranzistoare — ficcare cu avantajele și dezavantajele sale — precum și cele mai reprezentative tipuri sînt date în acest capitol.

1. TRANZISTOARE SIMPLU DIFUZATE (HOMETAXIALE)

Caracteristicile principale ale acestor tranzistoare:

$U_{CEO}=40 \dots 70$ V (foarte rar 100—150 V)

$I_C = 10 \dots 30$ A (uzual 10—15 A)

$P_a = 75 \dots 150$ W

$F_T = 0,8 \dots 1,5$ MHz (uzual 1 MHz)

Tranzistoarele simplu difuzate sînt toate de tip NPN și sînt caracterizate de o excepțională robustețe, atît sub aspectul puterii disipate cît mai ales, ca rezistență la străpungere (second breakdown).

Principalele tipuri de largă circulație: BD 130; BD 141; BD 142; BDX10, 11, 12, 13, 23, 24, 40, 41, 50, 51, 60. 2 N 3055(BDX10);

2 N 3441; 2 N 3442; 2N 3371; 2N 3372; 2N 4347; 2N 4348; BDX70, 71, 72, 73, 74, 75.

În țara noastră, I.P.R.S.-Băneasa, fabrică tipul universal 2 N 3055 cu „derivatele” sale 2 N 3055 U; 2 N 3055 M; BD 142 etc. realizate cu structuri în care baza este omogenă ca rezistivitate în direcție axială (emitor spre colector).

Tranzistorul 2 N 3055 poate disipa o putere de 115 W în condiții de răcire ideală (cu radiator infinit, astfel ca temperatura capsulei să nu depășească 25°C).

În condiții reale de răcire, cu un radiator nervurat (extrus) având o rezistență termică de cca. 2°C/W, tranzistorul 2 N 3055 poate disipa o putere de cca. 40 W; în această situație temperatura joncțiunii atinge 180°C, limita superioară admisă.

În tabelul D se prezintă parametrii limită ale celor mai uzuale tranzistoare hometaxiale:

| Tranzistor | U_{CBO} V | U_{CEO} V | U_{CER} (100Ω) V | I_C A | I_{CM} A | I_B A | B | $P_{d\infty}$ W | T_j °C | R_{tje} °C/W | F_t MHz |
|------------|----------------|----------------|--------------------------|------------|---------------|------------|--------|--------------------|-------------|-------------------|--------------|
| 2N3055 | 100 | 60 | 70 | 15 | 15 | 7 | 20-70 | 117 | 200 | 1,5 | 1 |
| 2N3055U | 100 | 80 | 90 | 15 | 15 | 7 | 30-200 | 150 | 200 | 1,17 | 0,8 |
| 2N3055V | 80 | 60 | 70 | 15 | 20 | 7 | 20-150 | 150 | 200 | 1,17 | 0,8 |
| 2N3055M | 120 | 90 | 100 | 8 | 10 | 5 | 20-50 | 117 | 200 | 1,5 | 1,5 |
| BD142 | 50 | 45 | 50 | 15 | 20 | 7 | 20-120 | 117 | 200 | 1,5 | 1,3 |
| BD141 | 140 | 120 | 130 | 8 | 13 | 5 | 20-70 | 117 | 200 | 1,5 | 1 |
| 2N3442 | 160 | 140 | 150 | 10 | 15 | 7 | 20-200 | 117 | 200 | 1,5 | 0,8 |
| 2N4347 | 140 | 120 | 130 | 5 | 10 | 3 | 20-70 | 100 | 200 | 1,75 | 1,2 |
| 2N3772 | 100 | 60 | 70 | 20 | 30 | 5 | 20-200 | 150 | 200 | 1,17 | 1 |
| 2N3771 | 50 | 40 | 45 | 30 | 30 | 7 | 20-200 | 150 | 200 | 1,17 | 0,8 |
| 2N3772 | 160 | 140 | 150 | 15 | 30 | 10 | 20-50 | 150 | 200 | 1,17 | 0,7 |
| 2N4348 | 140 | 120 | 130 | 10 | 30 | 5 | 15-60 | 120 | 200 | 1,47 | 0,8 |

2. TRANZISTOARE CU BAZĂ EPITAXIALĂ (EPIBAZA)

Caracteristicile principale ale acestor tranzistoare de tip NPN și PNP:

$$U_{CEO}=20 \dots 100 \text{ V}$$

$$I_C = 4 \dots 16 \text{ A}$$

$$P_d = 30 \dots 150 \text{ W}$$

$$F_T = 3 \dots 10 \text{ MHz}$$

Tranzistoarele epibază îmbină calitățile tranzistoarelor simplu difuzate (robustețe) și cele ale tranzistoarelor tripludifuzate (frecvențe mai mari de lucru), utilizate foarte bine în amplificatoare Hi-Fi de AF, comutație de putere, stabilizatoare de tensiune, baleiaj orizontal (ca tranzistor de atac) și baleiaj vertical (finale în TV alb și negru și TV color). Tipuri reprezentative de tranzistoare epibază sînt:

NPN: BD 433; BD 435; BD 437; BD 439; BD 441;

(vezi pag. 54)

PNP: BD 434; BD 436; BD 438; BD 440; BD 442;

Seria: BD 533; BD 535; BD 537 (NPN); BD 534; BD 536; BD 538 (PNP) are: $U_{CEO}=45-60-80 \text{ V}$; $I_C=4 \text{ A}$; $I_{CM}=7 \text{ A}$ și $P_d=50 \text{ W}$, capsulă TO-220 AB.

Cu tehnologia epibază se fabrică și tranzistoare integrate de tip Darlington, de tip NPN, de tip PNP precum și complementare PNP+NPN.

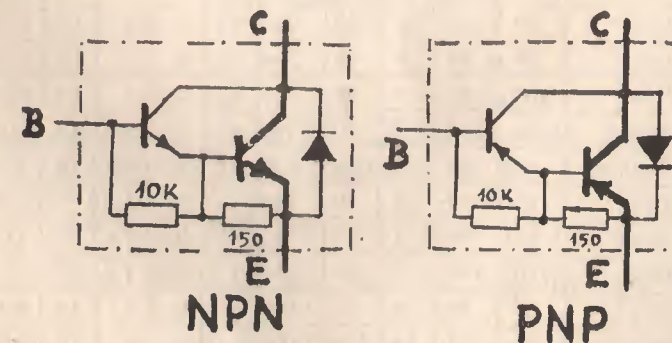


Fig. 28. Tranzistoare darlington

Tranzistoarele Darlington cuprind în capsulă două tranzistoare, 2 rezistențe și o diodă antiparalelă de protecție, așa cum se arată în figura 28.

Amplificarea de curent continuu B este de ordinul a 1 000–5 000, fiind aproape egală cu produsul amplificărilor de c.e. ale celor două tranzistoare componente:

$$B = B_1 \cdot B_2$$

Astfel dacă $B_1 = 100 \dots 200$ (T_1 fiind un tranzistor mic asemănător unui BC 107), iar $B_2 = 20 \dots 50$ (T_2 este un tranzistor de putere), amplificarea grupului Darlington rezultă:

$$B = (100 \dots 200) \times (20 \dots 50) = 2\,000 \dots 10\,000$$

Ca urmare la un curent de bază $I_B = 3$ mA, la un tranzistor cu $B = 3\,000$, se obține un curent de colector $I_C = 9$ A.

Tipuri uzuale de tranzistoare Darlington:

NPN: BD 263; BD 267; BD 645; BD 647; BD 649; BD 675; BD 677; BD 679; BD 681; BDX63; BDX65; BDX67;

PNP: BD 262; BD 266; BD 646; BD 648; BD 650; BD 678; BD 680; BD 682; BDX62; BDX64; BDX66;

Tranzistoarele Darlington de putere se folosesc preponderent în amplificatoare Hi-Fi de AF, dar și în stabilizatoare de tensiune. Se dau mai jos în tabelul E parametrii unor tranzistoare epibază:

TABEL E.

| | U_{CEO} V | U_{CEO} V | I_C A | $P_{d\infty}</$ |
|--|----------------|----------------|------------|-----------------|
|--|----------------|----------------|------------|-----------------|

NOTA: Tranzistoarele BD 262, 263, 266, 267, BDX62, 63, 64, 65, 66 și 67 au 3 clase de tensiune. În tabelul E s-au trecut

tranzistoarele cu tensiunea cea mai mică. Celelalte clase de tensiuni sînt evidențiate cu literele A și B, astfel:

BD 262–BD 263 $U_{CEO} = 60$ V

BD 262 A–BD 263 A $U_{CEO} = 80$ V

BD 262 B–BD 263 B $U_{CEO} = 100$ V

BDX62–BDX63 $U_{CEO} = 60$ V

BDX62 A–BDX63 A $U_{CEO} = 80$ V

BDX62 B–BDX63 B $U_{CEO} = 100$ V

BD 266 –BD 267 – 60 V BDX64 –BDX65 – 60 V

BD 266 A–BD 267 A– 80 V BDX64 A–BDX65 A – 80 V

BD 266 B–BD 267 B–100 V BDX64 B–BDX65 B –100 V

BDX66–BDX67 $U_{CEO} = 60$ V

BDX66 A–BDX67 A $U_{CEO} = 80$ V

BDX66 B–BDX67 B $U_{CEO} = 100$ V

3. TRANZISTOARE TRIPLU DIFUZATE (PENTRU BALEIAJ ORIZONTAL)

Caracteristicile esențiale ale acestei familii de tranzistoare sînt tensiunea mare de lucru, frecvența ridicată și viteză mare de comutație.

Aceste tranzistoare sînt destinate în special etajelor finale de baleiaj orizontal ale televizoarelor portabile, staționare și color:

$$U_{CEO} = 200 \dots 2\,000 \text{ V}$$

$$I_C = 3 \dots 10 \text{ A}$$

$$P_d = 5 \dots 15 \text{ W}$$

$$f_T = 5 \dots 30 \text{ MHz.}$$

Dintr-un număr enorm de tranzistoare triplu difuzate, interesează tipurile mai uzuale, utilizate în televizoarele moderne (toate NPN):

1. BU 406; BU 407; BU 408; BU 104; BU 109; BU 312; 2 SC 558; 2 SC 1617;
2. BU 204; BU 205; BU 206; BU 207; BU 208; BU 209; BUY 71; 2 SD 200;

Grupa 1, cuprinde tranzistoarele cu tensiune maximă de ordinul a 250–350 V, care se folosesc în etajele finale de baleiaj orizontal alimentate la tensiunea de 25–32 V, în televizoare portabile, transportabile și staționare. Cum tensiunea maximă din timpul întoarcerii este de cea. 8 ori mai mare, decît tensiunea

de alimentare (accidental chiar de 10 ori), înseamnă că tranzistoarele din grupa 1 trebuie să suporte în condiții de U_{CEV}^* . Tensiuni de 250–320 V.

Grupa 2, cuprinde tranzistoare pentru baleiajul orizontal alimentat la 120–150 V și chiar 200 V, în televizoarele alb-negru sau color.

Luând în considerare și aici raportul 10 între tensiunea maximă de impuls în timpul întoarcerii, tensiunea U_{CE} necesară este de 1 200–2 000 V.

Puterea disipată a acestor tranzistoare este relativ mică, mai ales la tranzistoarele din grupa de înaltă tensiune. Este de altfel de importanță excepțională, o bună răcire a tranzistoarelor de baleiaj, deoarece temperatura joncțiunii nu trebuie să depășească niciodată 80–85°C, aceasta pentru a se asigura fiabilitatea.

Parametrii tranzistoarelor triplu difuzate pentru baleiaj sînt dați în tabelul F.

● Unele din tranzistoarele moderne de B.O. conțin în capsulă și o diodă antiparalelă care joacă rolul diodei paralele de recuperare.

Tranzistoarele BU 406 D și BU 407 D, conțin deci și dioda de recuperare evidențiată prin litera D. Dioda este dimensionată pentru $V_R=350$ V și $I_D=5$ A la $V_F=1$ V. În figura 29, a se arată schema electrică a tranzistoarelor BU 406 D și BU 407 D.

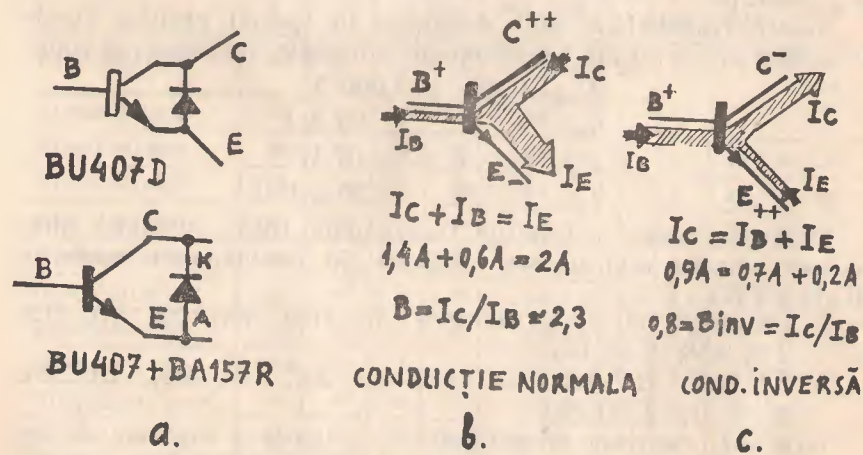


Fig. 29.

* Intrarea tranzistorului este blocată; în cazul tranzistoarelor NPN, între E și B se aplică o tensiune de polarizare inversă de cca. 2 V cu plus pe E și minus pe B.

TABELUL F

| Tranzistor | U_{CBO} V | U_{CEV} U_{CEx} V | U_{CEO} V | I_C A | I_B A | $U_{CE sat}$ V | I_a I_c (A) | T_j °C | R_{thjc} °C/W | P_d W | F_t MHz |
|------------|----------------|-----------------------------|----------------|------------|------------|-------------------|--------------------|-------------|--------------------|------------|--------------|
| BU 406 | 400 | 375 | 200 | 7 | 4 | 1/5 | 5–15/5 | 150 | 2,1 | 60 | 10 |
| BU 407 | 330 | 300 | 150 | 7 | 4 | 1/5 | 5–15/5 | 150 | 2,1 | 60 | 10 |
| BU 104 | 400 | 350 | 250 | 7 | 3 | 1,75/5 | 10–50/5 | 175 | 2 | 85 | 10 |
| BU 109 | 330 | 300 | 200 | 7 | 3 | 1,5/5 | 15–40/5 | 175 | 2 | 85 | 10 |
| BU 312 | 280 | 280 | 150 | 6 | 2 | 1,5/5 | 10–20/5 | 175 | 3 | 25 | 25 |
| BU 204 | 1 300 | 1 300 | 600 | | 2 | 5/2 | 2,5/2 | 115 | 2,5 | 10 | 8 |
| BU 205 | 1 500 | 1 500 | 700 | 2,5 | 2 | 5/3 | 2,3/2 | 115 | 1,5 | 10 | 8 |
| BU 206 | 1 700 | 1 700 | 800 | | 2 | 5/2 | 2/2 | 115 | 2,5 | 10 | 8 |
| BU 207 | 1 300 | 1 300 | 600 | 5 | 4 | 5/4,5 | 2,5/4,5 | 115 | 1,6 | 12,5 | 7 |
| BU 208 | 1 500 | 1 500 | 700 | 5 | 4 | 5/4,5 | 2,3/4,5 | 115 | 1,6 | 12,5 | 7 |
| BU 209 | 1 700 | 1 700 | 800 | 5 | 4 | 5/4,5 | 2/4,5 | 115 | 1,6 | 12,5 | 7 |
| BUY71 | 2 200 | 2 200 | 1 000 | 2 | 1,5 | 5/1,5 | 3/1,5 | 125 | 1,5 | 15 | 10 |

● Familia de tranzistoare BU 204 . . . 209 precum și tranzistorul BUY 71 sînt de o „construcție” cu totul specială, care asigură și conducția inversă a curentului în colector. În fig. 29, b, se evidențiază conducția normală ca la orice tranzistor NPN cînd curentul emitorului este cel mai mare dintre cei trei curenți și iese din tranzistor. În situația de conducție inversă, tranzistorul BU 205 joacă rolul diodei paralele de recuperare; curentul principal străbate tranzistorul prin joncțiunea bază-colector în sens invers celui normal în timp ce și joncțiunea EB conduce invers un curent ceva mai mic. Pentru a conduce invers, trebuie ca emitorul să fie pu-ternic pozitiv față de colector. Se poate spune despre BU 205 că este un tranzistor „simetric” care conduce în ambele sensuri, făcînd să nu mai fie necesară dioda de recuperare conectată antiparalel.

Trebuie menționat că tranzistoarele de înaltă tensiune de felul lui BU 205 sînt extrem de pretențioase în ceea ce privește comanda bazei, atît ca amplitudine cît și ca fază aceasta în scopul de a asigura golirea deplină de curent a tranzistorului pentru perioada de 12 μ s cînd are loc întoarcerea timp în care tranzistorul este supus la o tensiune de 1 000—1 200 V.

Prin tehnologie triplu difuzată se obțin și tranzistoare rapide de puteri și tensiuni foarte mari, adică 300—400 V, 20—40 A, 150—250 W și totuși t_f (timp de cădere) de 0,5—1 μ s.

Se prezintă mai jos unele serii de tranzistoare deosebite triplu difuzate (TD).

| MESATD. | BUX39 | BUX40 | BUX41 | IIIUN42 | BUX43 | BUX44 | |
|-----------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|---------|
| U_{CEO} | 90 | 125 | 200 | 250 | 325 | 400 | V |
| I_c | 30 | 20 | 15 | 12 | 10 | 8 | A |
| P_d | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | 120 | W |
| t_f | 0,3 | 0,4 | 0,8 | 0,8 | 1 | 1,2 | μ s |

| TD | BUX20 | BUX21 | BUX22 | BUX23 | BUX24 | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| U_{CED} | 125 | 200 | 250 | 325 | 400 | V |
| I_c | 50 | 40 | 33 | 25 | 20 | A |
| P_d | 150 | 250 | 250 | 250 | 250 | W |
| t_f | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 1,1 | 1,4 | μ S |


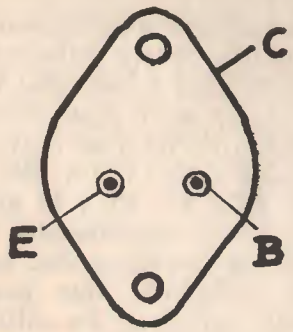

| | | |
|---|--|---|
|  |  |  |
| CAPSULA SOT32 SAU T0126 | CAPSULA TO3 | CAPSULA TO220AB |
| BD135, 137, 139 BD136, 138, 140 | 2N3050, BD141, BD142 2N3442, 2N4347, 2N4348 2N3771, 2N3722, 2N3773 | BU406, BU407 BU407D |
| BD433, 435, 437 BD434, 436, 438 BD439, BD441 BD440, BD442 | BD130, BU120, BU126, BU312 | BD645-BD646 BD647-BD648 BD649-BD650 |
| BD533, 535, 537 BD534, 536, 538 | BDX10, 11, 12, 13, 23, 24, 25 BDX40, 41, 50, 51, 60, 61, 62 BDX63, 64, 65, 66, 67, 68, 69 BDX71, 72, 73, 74, 75, 76, 77 | BD533-BD534 BD535-BD536 BD537-BD538 |
| BD675-BD676 BD677-BD678 BD679-BD680 BD681-BD682 | BUX10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 BUX20, 21, 22, 23, 24, 25, 26 BUX39, 40, 41, 42, 43, 44, 45 | |
| BD262-BD263 BD233, 235, 237 BD234, 236, 238 | BUY12, BUY18, BUY47, 4 , 57 BUY72, 73, 74, 74, 76, 77, 78, | |
| | BU100, 102, 104, 105, 108, 109 BU204, 205, 206, 207, 208, 209 | |

Fig. 30.

4. TRANZISTOARE PLANAR EPITAXIALE DE PUTERE

Cronologic, în tehnologia planară s-au realizat primele tranzistoare rapide de putere pentru baleiajul orizontal, tranzistoare cu tensiuni U_{CER} de ordinul a 200—300 V, cum au fost BUY 12, BU 100, BU 102 al căror mare dezavantaj era fragilitatea la tensiuni mari, în sarcină. Ulterior s-au dezvoltat tranzistoarele mult mai robuste la străpungere BU 100 A, BU 125 S, BD 375, BD 377, BD 379, BUY 18 S, BUY 47, BUY 48 etc.

Cum din tehnologie tranzistoarele PL-E au baza foarte subțire, proprietățile de frecvență sînt superioare oricăror tranzistoare de putere, făcîndu-le apte pentru comutație rapidă, dar nu pentru baleiaj orizontal. De altfel frecvența de tăiere a tranzistoarelor PL-E de putere este cuprinsă între 50 și 100 MHz (simultan cu 5—10 A și 200—300 V) iar timpii de comutație de 0,1—0,3 μ s.

Tranzistoarele de putere pentru etajele finale ale stațiilor mobile de radiocomunicații sînt toate de tip planar-epitaxial.

La acestea în scopul de a asigura frecvențe foarte mari de lucru baza are grosimi de ordinul a 1—2 μ și ca urmare tensiunile de lucru sînt mici. O serie mare de tranzistoare pentru emițătoare cu SSB (bandă laterală unică). FIF și UIF, au U_{CEO} de ordinul a 20—40 V curenți maximi de 2—15 A și frecvențe limită de 150—900 MHz.

În încheiere se prezintă în fig. 30, conexiunile terminale ale tranzistoarelor de putere enumerate în acest capitol.

* * *

Scutur

I. I. S. ELECTRONICA BUCUREȘTI
SERVICE

BULETIN TEHNIC Nr. 3

TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU GERMANIU
TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU SILICIU

PENTRU UZ INTERN