



Eugen Statnic

**TIPURI ȘI FAMILII DE
TRANZISTOARE CU GERMANIU**

**TIPURI ȘI FAMILII DE
TRANZISTOARE CU SILICIU**

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

Autor: ing. EUGEN STATNIC

**Tiparul executat sub comanda nr. 143 la Intreprinderea
poligrafică „Crișana“, Oradea str. Moscovei nr. 5**

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

Intr-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 sint necesare pentru însușirea materialului din prezentul buletin tehnic.

I. TIPURI ȘI FAMILII DE TRANZISTOARE CU GERMANIU

Vom analiza întâi tranzistoarele cu germaniu, care, așa cum am arătat în capitolul de cunoștințe, privind tehnologia, pot fi aliate sau drift. Avem câteva 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 rezultând 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 $U_{CBO} = 10 \div 18$ V
18%	tranzistoare cu $U_{CBO} = 18 \div 24$ V
20%	tranzistoare cu $U_{CBO} = 24 \div 32$ V
25%	tranzistoare cu $U_{CBO} = 32 \div 48$ V
10%	tranzistoare cu $U_{CBO} = 48 \div 60$ 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).

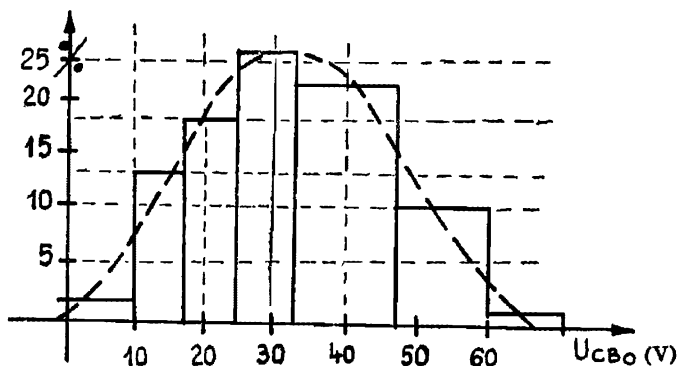


Fig. 1

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 tipic 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 $\rightarrow$ seria 300 adică EFT 301 — EFT 302 — EFT 303
 18 V $\rightarrow$ seria 310 adică EFT 311 — EFT 312 — EFT 313
 24 V $\rightarrow$ seria 320 adică EFT 321 — EFT 322 — EFT 323
 32 V $\rightarrow$ seria 330 adică EFT 331 — EFT 332 — EFT 333
 48 V $\rightarrow$ 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 $\rightarrow \beta = 17 \dots 45$ (roșu 20—30 și portocaliu 30—40)
 2 $\rightarrow \beta = 35 \dots 65$ (galben 40—50 și verde 50—60)
 3 $\rightarrow \beta = 55 \dots 200$ (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 amplificare 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:

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

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

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

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:

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

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

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

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

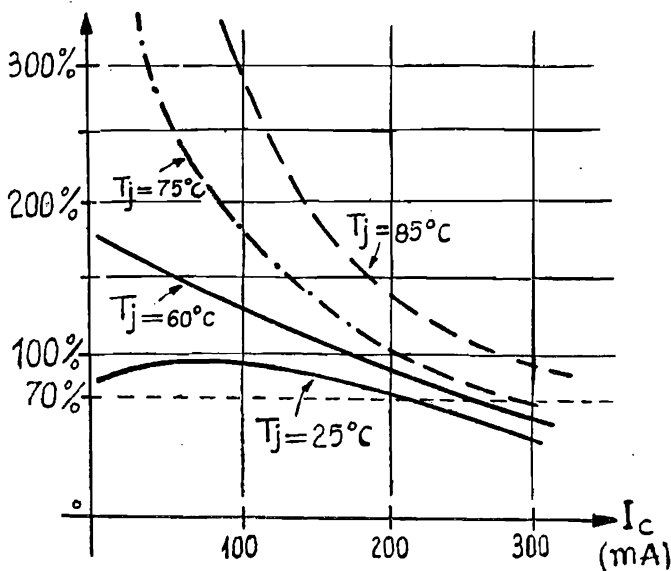


Fig. 2

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 ($P_d=60$ mW).

Tranzistorul T8 EFT 322 este destul de solicitat atunci când 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:

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

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:

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

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 încărcă 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_{21} , astfel că distorsiunile semnalului de la ieșire se situează sub 10%.

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

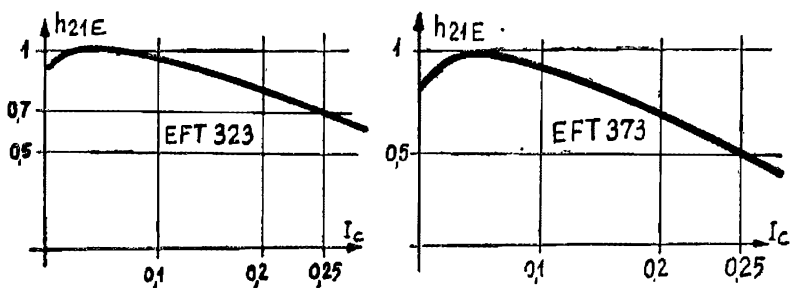


Fig. 3

mare, adică cu o culoare mai sus decât amplificarea tranzistorului PNP; datorită scăderii mai mari a lui h_{21E} la curenți mari, amplificarea tipului NPN nu va fi decât cu 15—20% mai mică decât 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. Întrucât la RR alimentate cu tensiune mică este posibilă utilizarea și a tranzistoarelor de 18 și 12 V, este uzuală

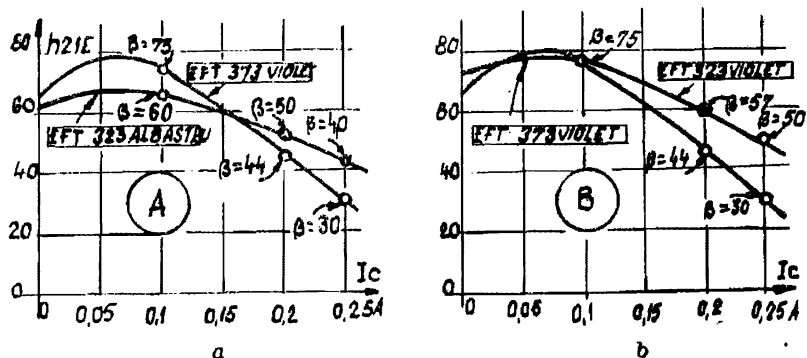


Fig. 4

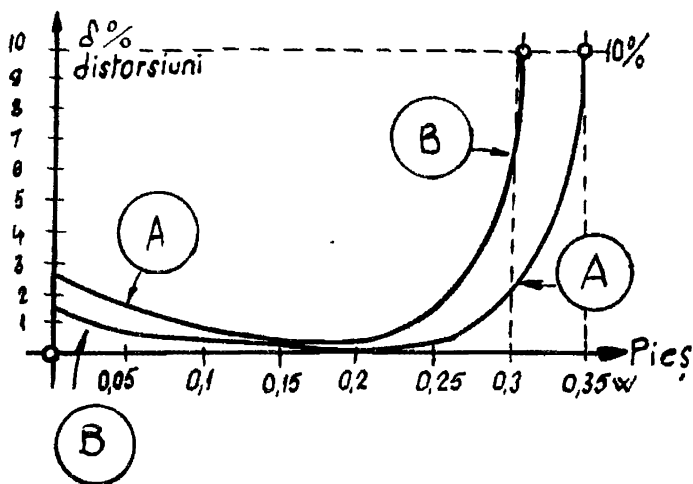


Fig. 5

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 $\bar{U}_{CBO}$ 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 Ge 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 $I_C =$

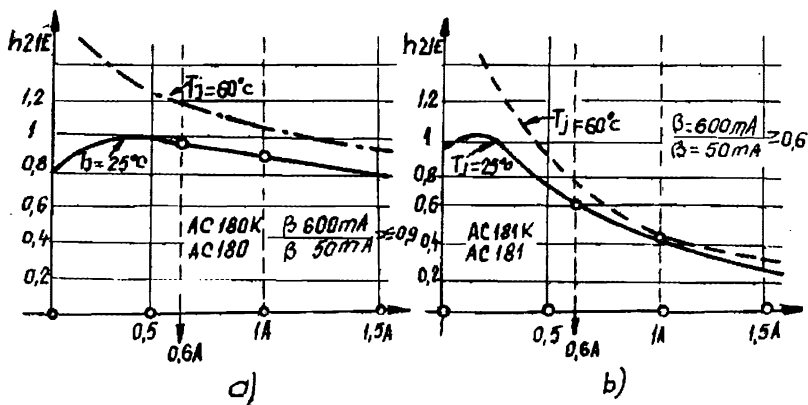


Fig. 6

$= 50$ mA un $h_{21E} =$ de cca 100. La un PNP-AC 180 K, cind $h_{21E} 600 \text{ mA} = 65$, se înțelege că $h_{21E} 50 \text{ mA}$ va fi de cca 70, deoarece β nu scade așa de mult. Imperecherea 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 imperechere 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 decât 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-

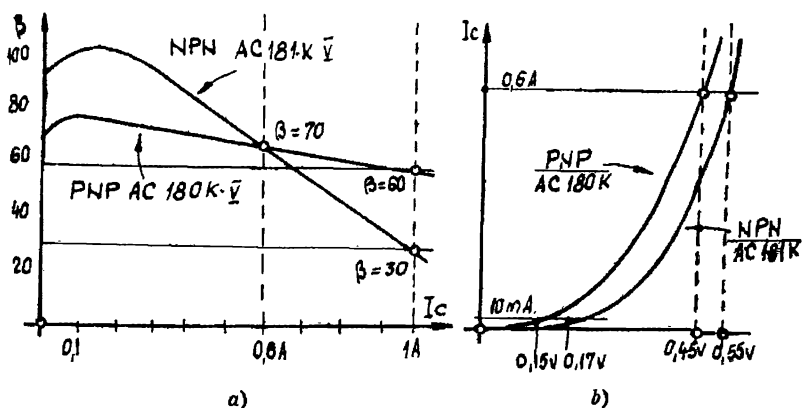


Fig. 7

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

* 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 aceeași 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

Transistor	POL.	U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	$I_{C\ max}$ (mA)	$P_d\ mW$ ($T_A = 25^\circ C$)	$P_d\ mW$ ($T_A = 45^\circ C$)	$R_{\theta ja}$ ($^\circ C/W$)	F_T (MHz)	h_{21E}		marcare
									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		albastru, violet alb
EFT 331	PNP	32	20	250	250	180	80	1,3	17— 45		roșu, portocaliu
EFT 332	PNP	32	20	250	250	180	80	1,6	35— 65		galben, verde
EFT 333	PNP	32	20	250	250	180	80	2	55—200		albastru, violet, alb
EFT 341	PNP	48	24	250	250	180	80	1,3	17— 45		roșu, portocaliu
EFT 342	PNP	48	24	250	250	180	80	1,6	35— 65		galben, verde
EFT 343	PNP	48	24	250	250	180	80	2	55—200		albastru, violet, alb

EFT 367	PNP	32	16	1 A	250	180	60	1,5	A = 45-75 B = 65-100 C = 90-170	
EFT 124	PNP	24	16	0,5 A	500	230	60	0,5	20-45	ieșite din uzul curent
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
EFT 377	NPN	32	16	0,6 A	250	180	60	1,5	A = 50-100 B = 75-110 C = 125-250	
AC 181	NPN	32	16	1 A	300	225	30	4,5(>2)	V 50-100 VI 75-150 VII 125-250 VIII 200-400	
AC 183	NPN	32	16	150	250	180	60	4,5(>2)		
AC 185	NPN	32	16	0,5 A	270	200	60	4,5(>2)		
AC 181 K	NPN	32	16	1 A	440	320	30	4,5(>2)		

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	POL	U_{CBO} (V)	U_{CEO} (V)	I_{CM} (A)	h_{21E} tipe (dispersia)	$U_{CE sat}$ (V)	$\lg I_C$ (A)	f_T MHz	R_{int} °C/W	T_{jmax} °C	$P_D f(U_{CE})$ $T_C=45^\circ C$
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_{CEO} 15 W la 0,7 U_{CEO}
AD 132	PNP	80	60	3	50 (20—100)	0,6	3	>0,25	1,5	90	10 W la 0,85 U_{CEO} 6 W la U_{CEO}
AD 149	PNP	50	30	3	60 (30—100)	0,3	2	>0,5	2	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_{CEO}
ASZ 15	PNP	100	60	10	40 (20—55)	0,35	10	0,2	1,5	90	30 W la 0—10 V
ASZ 16	PNP	60	32	10	75 (45—130)	0,35	10	0,25	1,5	90	20 W la 0,5 U_{CEO}
ASZ 17	PNP	60	32	10	50 (25—75)	0,35	10	0,22	1,5	90	15 W la 0,7 U_{CEO} 10 W la 0,85 U_{CEO}
ASZ 18	PNP	100	60	10	80 (30—110)	0,35	10	0,22	1,5	90	6 W la U_{CEO}

TRANZISTOARE DE PUTERE DIN FABRICAȚIA ANILOR

1960—1970*

(* în paranteză este trecut tipul nou, înlocuitor)

Tranzistor	POL	U_{CE0} (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: $I_{CM} = \frac{\frac{U_B}{2} - U_{CE\ sat}}{R_i + R_E} \cong \frac{U_B}{2R_i}$

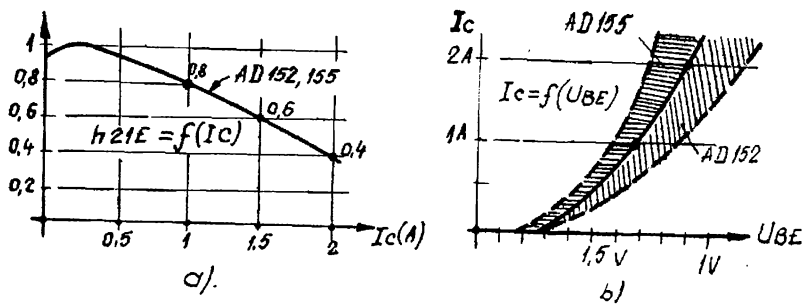


Fig. 8

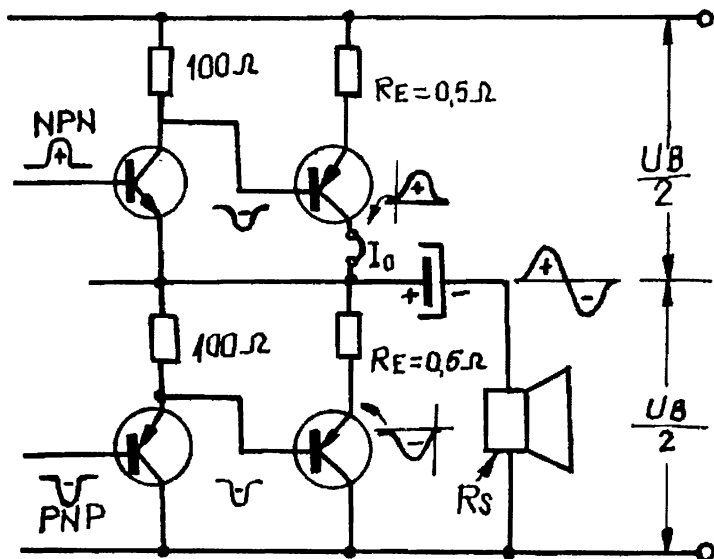


Fig. 9

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

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

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

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

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

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

● 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 $I_o = 0,65$ 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 $I_c = 2$ A.

Se determină:

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

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

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

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

● 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 $U_{refea} = 220$ V, fiind diferența dintre tensiunea de 15,5 V la bornele C 404 ($2\ 200 \ \mu\text{F}$) 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 întrucît 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 $30-50 \text{ V}$ 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

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

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

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

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

deci: $P_{ieș \text{ max}}=36 \text{ W}$. (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:

$$I_o \text{ max} = \frac{1,5 \cdot 36 \text{ W}}{40 \text{ V}} \cong 1,35 \text{ A.}$$

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 $f=30\text{—}40$ 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:

$$\text{La } f=f_T \quad \beta = \frac{I_{c\sim}}{I_{b\sim}} = 1, \text{ deoarece } f_T = f \cdot \beta_1.$$

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).

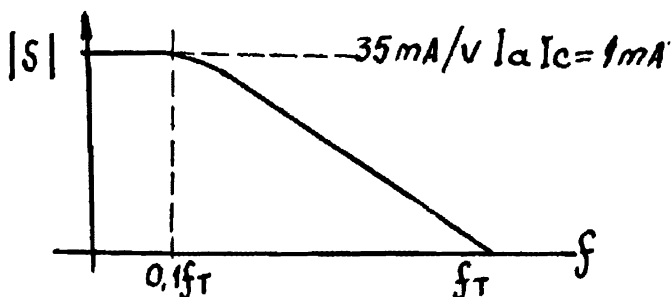


Fig. 10

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.

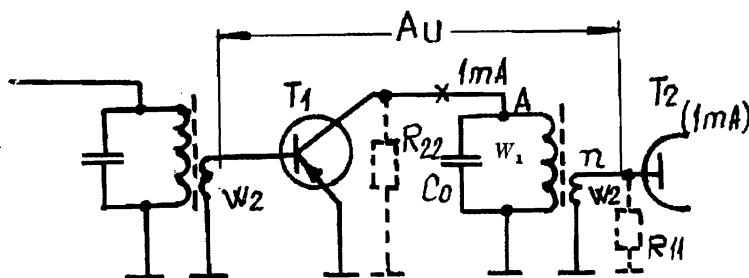


Fig. 11

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_{21s} =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) $Q_0=90$

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

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

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'

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

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

Cu aceasta calculăm amplificarea etajului:

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

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

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 $f = 0,5 \text{ MHz}$, 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, parametrii 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 interșanjabile. 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

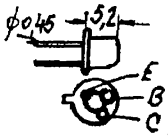
Sînt foarte cunoscute pînă acum tranzistoarele NPN cu siliciu BC 107—BC 108—BC 109 utilizate în etajele de audiofrecvență ale radioreceptoarelor precum și în etajele cele mai diverse (de audiofrecvență, de comutație sau prefinale video) ale televizoarelor.

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, SESCOEM, 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.

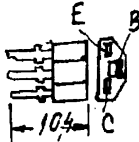
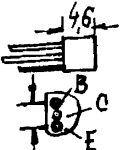
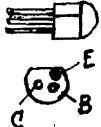
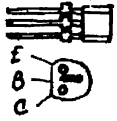
1. TRANZISTOARE DE AF ȘI

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

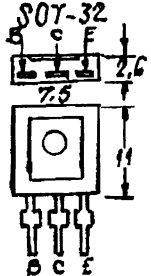
2. TRANZISTOARE NPN ȘI

		$U_{CBO}\text{ (V)}$	$U_{CEO}\text{ (V)}$	$I_C\text{ (A)}$
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

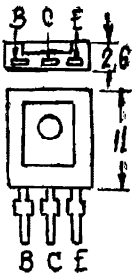
I_{CM} (A)	P_d $t_a=45^\circ\text{C}$ (W)	$P_d\infty$ (W)	h_{21E}	f_T (MHz)	capsula
1,5	1	6	40—250	100	
1,5	1	6	40—160	100	
1,5	1	6	30—140	100	
1,5	1	6	40—250	50	
1,5	1	6	40—160	50	
1,5	1	6	30—140	50	

		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

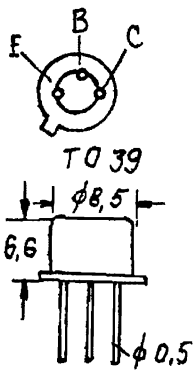
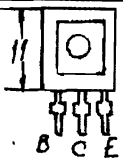
3. TRANZISTOARE NPN

	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

Tabel (continuare)

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

I_a 10 V/300 mA	P_d (mW) $t_a=45^\circ\text{C}$	R_{thja} ($^\circ\text{C}/\text{W}$)	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	

*

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, $P_a = 200$ mW. Unele tipuri în plastic au $P_a = 250$ 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 obținindu-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.

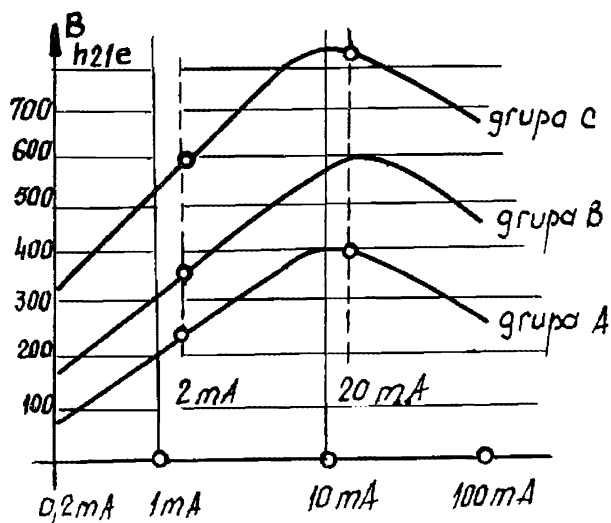


Fig. 12

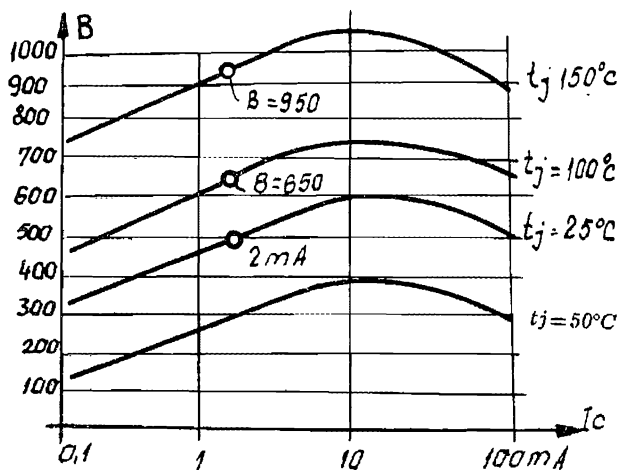


Fig. 13

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

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

E. Proprietăţile de frecvenţă ale familiei BC 107, 108, 109

Frecvenţa de tăiere f_T este de $150 \dots 300\text{ MHz}$, deoarece rezistenţa bazei $r_{bb'}$ este mică iar capacitatea colectorului este doar de $3 \div 5\text{ pF}$. Cu toate că f_T este mare totuşi *aceste tranzistoare nu pot fi utilizate în amplificatoare de RF sau FI*, deoarece capacitatea dintre colector şi bază, care este de fapt capacitatea de reacţie C_{12} este de ordinul a $3 \text{—} 4\text{ pF}$ şi nu de $0,5 \text{—} 1\text{ pF}$. Aceste tranzistoare pot fi însă oscilatoare foarte bune pînă la frecvenţa de ordinul a 200 MHz .

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

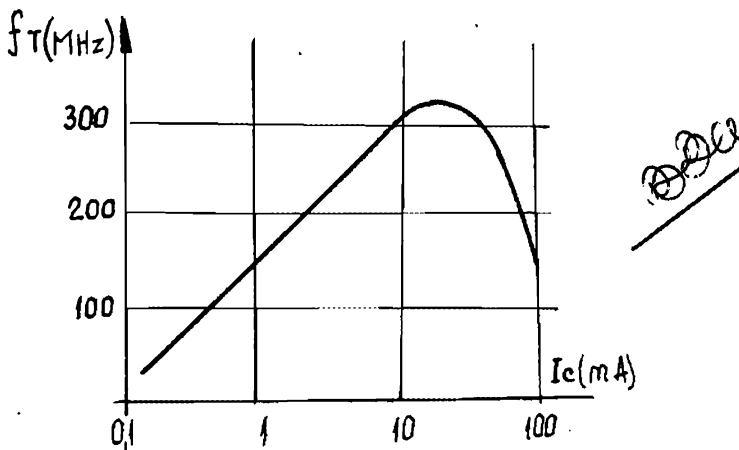


Fig. 14

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

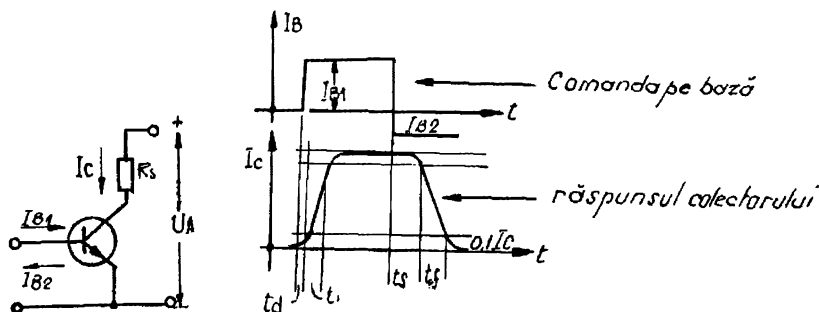


Fig. 15

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 baleiaj 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 (evacuându-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_a , 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 ($t_a + t_r$), 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 baleiaj 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. $P_d=0,2-0,25$ W la $t_a=45^\circ\text{C}$.

B. Tensiuni și curenți valori-limită.

Tipul tranzistorului PNP.	$-U_{CBO}$	$-U_{CBO}$	$-U_{EBO}$	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: $\beta=75...250$

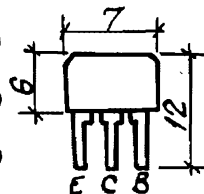
(clasa VI și clasa A)

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	Țara 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 "	RSFJ 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 "	" RSFJ "	— 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 " "	Franta " "	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 "	$U_{CE0} = 30$ V $U_{CE0} = 45$ V	(BC 109) (BC 109)
BC 415 BC 416	" "	" "	$U_{CE0} = 30$ V $U_{CE0} = 45$ 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 $U_{CE\ sat} \approx 1$ V la $I_C=1$ A la BD 135—136 față de $U_{CE\ sat}=0,35$ 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.

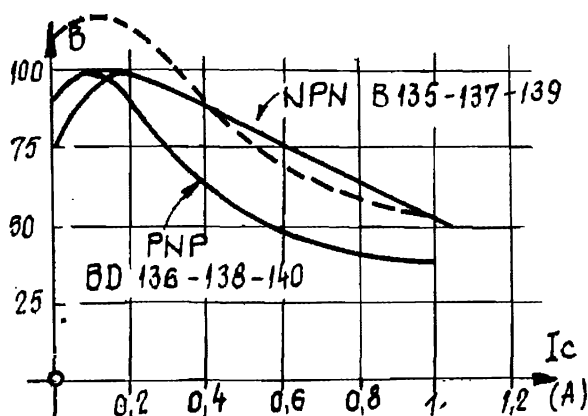


Fig. 16

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 $\beta=63 \dots 160$ (tipic 100).

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

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

- 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:*

- A. cca 1°C/W cînd tranzistorul este strîns, neizolat pe radiator.
- B. cca 9°C/W cînd se pune o izolație de 0,05 mm (de mică) ca izolație.
- C. cca 13°C/W cînd se pune o izolație de 0,1 mm (de mică) ca izolație.
- D. cca 15°C/W cînd se pune o izolație de 0,1 mm policarbonat.
- E. 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:

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

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

Din formula $P_d = \frac{T_j - T_a}{R_{th}}$ se obține: $T_j = T_a + R_{th} \cdot P_d$ rezultând 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°C — pînă la cel mult 3—4 W. La puteri disipate mai mari, datorită rezistenței mari de contact între capsulă și radiator, încălzirea joncțiunii poate depăși 140—150°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:

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

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:

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

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_{vp}. 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.

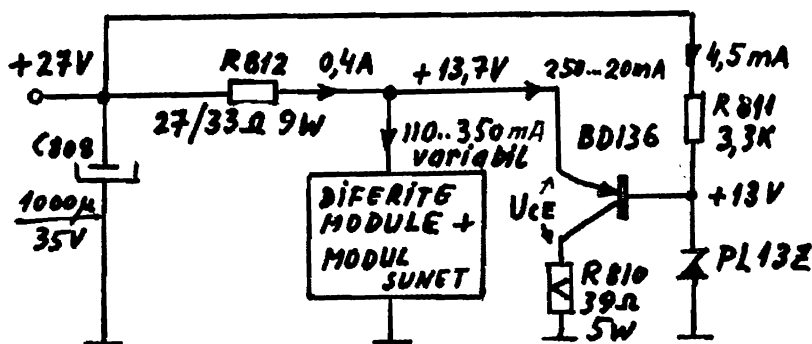


Fig. 17

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 modului 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 $13,7 \times 0,25 \approx 3,5$ 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 $I_C = 2$ A față de 1 A;
 - curentul $I_{CM} = 5$ A față de 1,5 A;
 - tensiune de saturație: $< 0,6$ la $I_C = 1$ 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 $U_{CEO} = 45$ V

BD 235—BD 236 cu $U_{CEO} = 60$ V

BD 237—BD 238 cu $U_{CEO} = 80$ 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.

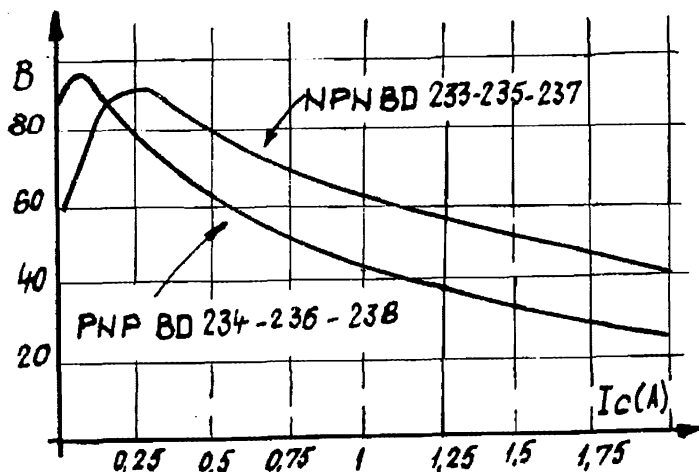


Fig. 18

De aici se vede că o împerechere avantajoasă este atunci cînd tranzistorul PNP are la $I_C=0,15$ A o amplificare cu 20–25% mai mare decît 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	$U_{CE} = 5 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$	>40	>40	>30	>20	>15	
β	$U_{CE} = 1 \text{ V}$ $I_C = 0,5 \text{ A}$	>85	>85	>85	>40	>40	
β	$U_{CE} = 1 \text{ V}$ $I_C = 2 \text{ A}$	>50	>50	>40	>25	>15	
$I_B = 0,2 \text{ A}$	$I_C = 2 \text{ A } U_{CE \text{ sat}}$	>0,5	>0,5	>0,6	>0,8	>0,8	V
$T_j = 45^\circ\text{C}$	$I_{CBO} \text{ la } U_{CBO}$	>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	$U_{CE} = -5 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}$	>40	>40	>30	>20	>15	
β	$U_{CE} = -1 \text{ V}$ $I_C = 0,5 \text{ A}$	>85	>95	>85	>40	>40	
β	$U_{CE} = -1 \text{ V}$ $I_C = 2 \text{ A}$	>50	>50	>40	>25	>15	
$I_B = 0,2 \text{ A}$	$I_C = 2 \text{ A } U_{CE \text{ sat}}$	< 0,5	< 0,5	< 0,6	< 0,8	< 0,8	V
$T_j = 45^\circ\text{C}$	$I_{CBO} \text{ la } U_{CBO}$	< 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_{CEB} 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).

Știind că rezistența de sarcină a unui etaj final video este de $4-5$ K Ω 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:

$$\begin{aligned} U_{CEB} &= 150-200 \text{ V} \\ I_{CM} &= 50-100 \text{ mA} \\ f_T &= 50-100 \text{ MHz} \\ C_{b'c} &\leq 5 \text{ pF} \\ P_a &= 1 \dots 3 \text{ W.} \end{aligned}$$

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 $I_C = 15 \text{ mA}$ și ajunge la 20 V când $I_C = 30 - 35 \text{ mA}$. Pe caracteristică este trasată dreapta de sarcină pentru $R_S = 4 \text{ K}\Omega$, ceea ce corespunde schemei

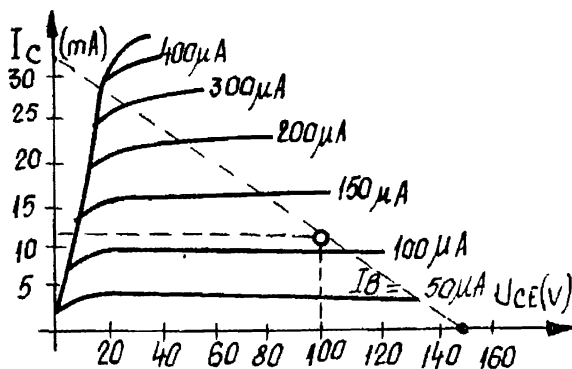


Fig. 19

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

$$A_U = \frac{80}{3} = 26,7$$

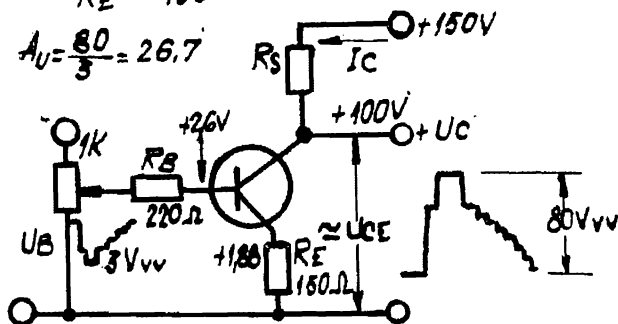


Fig. 20

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

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

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:

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

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 scade 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 (virf la virf) 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.

c) 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:

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

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 TO 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 $P_d \cong 0,8$ 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 $28\text{ }\mu\text{s}$ pozitiv și $36\text{ }\mu\text{s}$ pauză. În colector se obține o tensiune cu același caracter dar de polaritate inversată și anume $28\text{ }\mu\text{s}$ pauză și $36\text{ }\mu\text{s}$ pozitiv. Tensiunea din secundarul transformatorului defazor va bloca timp de $28\text{ }\mu\text{s}$ tranzistorul final BU 205 și îl va aduce în conducție timp de $36\text{ }\mu\text{s}$.

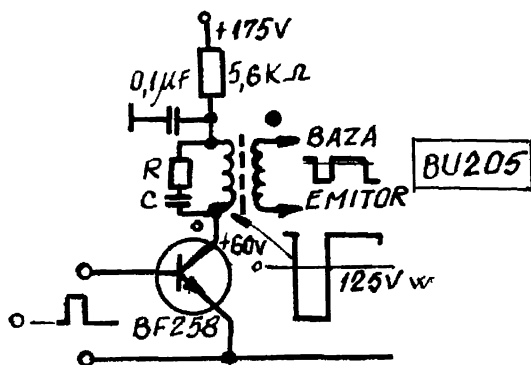


Fig. 21

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

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 rînd familiile de tranzistoare după domeniul de utilizare. Întrucît un tranzistor este în general utilizabil în mai multe feluri de etaje, rezultă doar cîteva 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 $C_{12e}=0,5-1\text{ pF}$.
- b) frecvența de tăiere $f_T=200-300\text{ MHz}$.
- c) tensiunea maximă $U_{CE}(U_{CB})=20-25\text{ V}$.
- d) curentul maxim de colector $I_{C\text{ max}}=15-30\text{ mA}$.
- e) puterea disipată $P_{d\text{ max}}=120-200\text{ mW}$.

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 $\pm 2-3\text{ dB}$ 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_{iss} (pF)	A_p (dB)	A_v (dB)	f (MHz)	β (static)	P_a (mW) $I_{a3} = 45^\circ\text{C}$	U_{CEO} (V)	$I_{C\text{ max}}$ (mA)	Capsula
UHF	RF	NPN	700	0,25	11	7	800	50(>15)	130	20	20	
	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	TO 72

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

FI MA/MF	BF 214	NPN	260	0,6	34	1,8	10,7	150(90—330)	130	30	30	
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	
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	
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	
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	
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 dealtfel pînă la frecvențe de ordinul a 500 MHz și aceasta pentru că frecvența maximă de oscilație este mult mai mare decît 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) $F=2\text{ dB}(100\text{ MHz})$ $f_T \leq 550\text{ MHz}$
 $C_{12B} \leq 0,13\text{ pF}$.

● 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: $F=1,6 \div 2\text{ dB}$ la 100 MHz, $U_{CB}=10\text{ V}$, $I_C=1\text{ mA}$ și admitanța la intrare $Y_{G_{opt}}=6,6\text{ ms-j}3,3\text{ ms}$.

● 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 aceiași 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 $S=35\text{ mA/V}$, la 2 mA $S=65\text{ mA/V}$ iar la 3 mA $S=90\text{ mA/V}$.

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		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) decît 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 $0,5 f_T$,

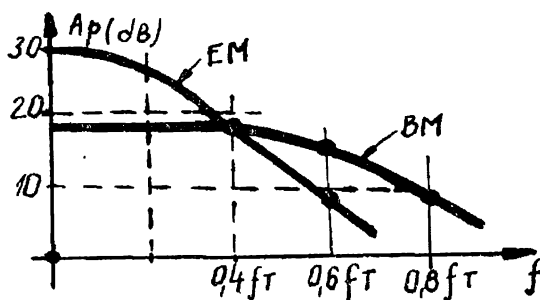


Fig. 22

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.

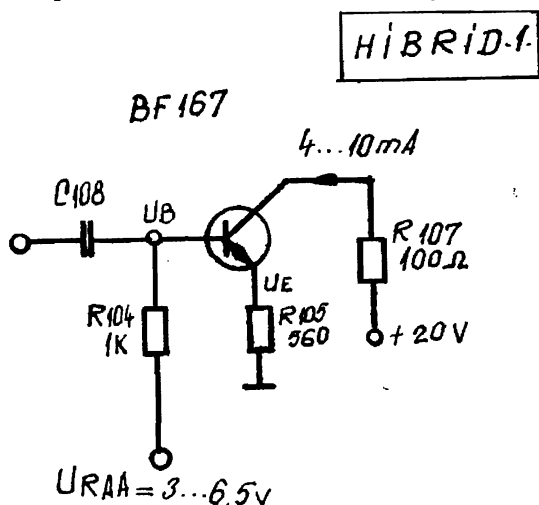
În ultimii ani, tipurile BF 167/173 cu capsulă metalică au fost înlocuite cu tipurile BF 198 și BF 199 cu capsulă de plastic, care sînt echivalente cu tipurile „mamă”, astfel:

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 tehnologie s-a putut obține o scădere foarte pronunțată a amplifi-



Semnul de intrare	I_C (mA)	U_E (V)	U_B (V)	U_C (V)	U_{CE} (V)
FS (fără semnal)	4	2,3	3	19,6	17,3
1,5 mV	8,5	4,8	5,5	19,2	14,4
semnal maxim.	10	5,5	6,2	19,0	13,5

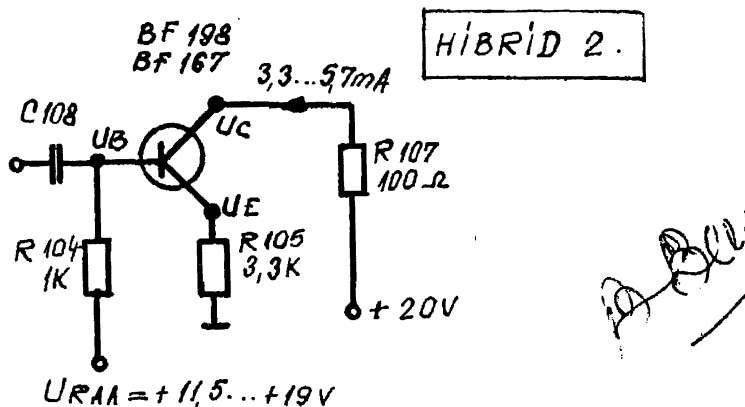
Fig. 23

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



Semnalul la intrare TV	I_C (mA)	U_E (V)	U_B (V)	U_C (V)	U_{CE} (V)
FS (fără semnal)	3,3	10,8	11,5	19,7	9
1,5 mV	5	16,3	17	10,5	3,2
Semnal maxim.	5,7	18,8	19,5	19,4	0,6

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 $C_{D'c}$ (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, reducând aproape la zero capacitatea parazită dintre colector și folia metalică de

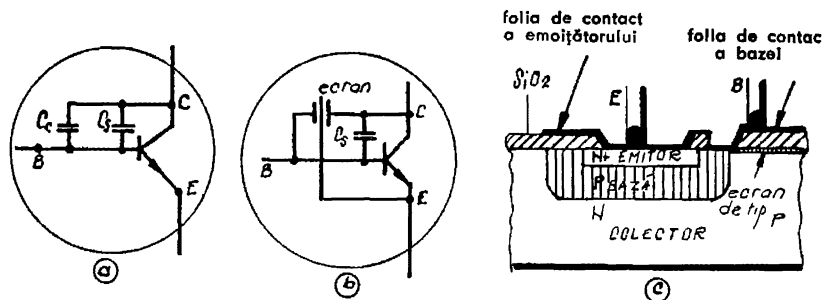


Fig. 25

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

- a) tranzistor planar obișnuit, fără ecran, avînd C_c și C_s .
- 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.

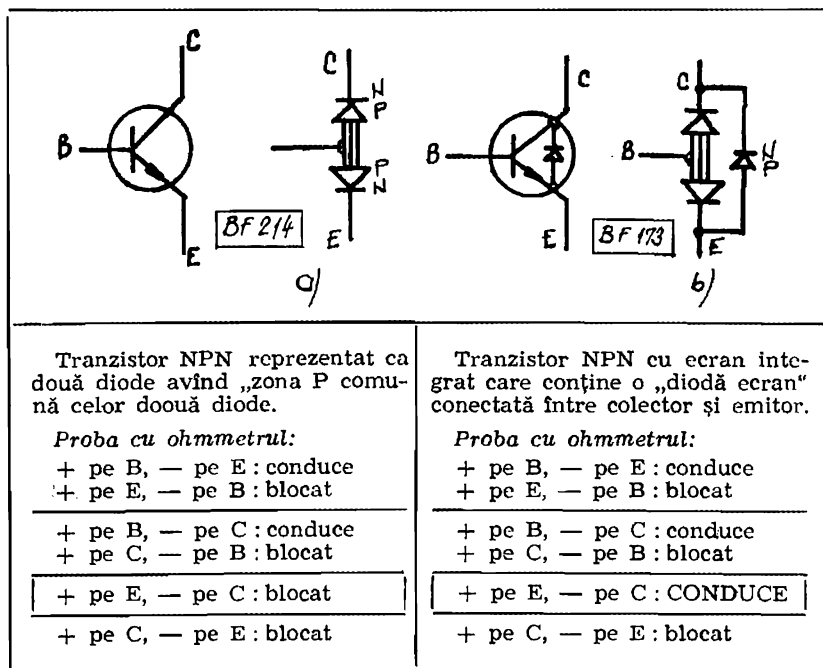


Fig. 26

● Parametrii principali Y ai tranzistoarelor de FI-VS sint 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 curenților de colector

La curent de 2...4 mA aceste tranzistoare au amplificarea maximă; pe măsura creșterii curenților, 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 curenților

$A_p = f(I_C)$. 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

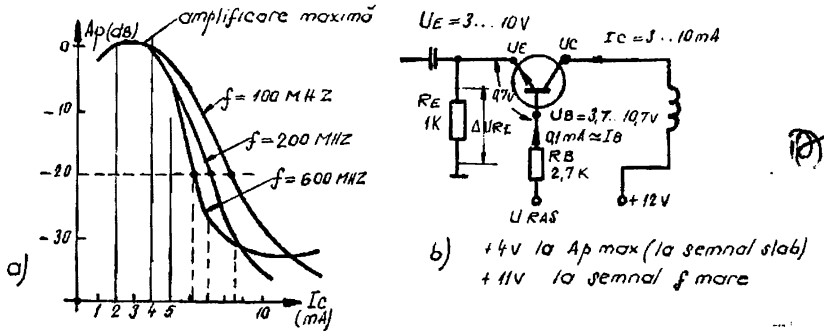


Fig. 27

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 $R_E=1 \text{ K}\Omega$, astfel că emitorul este la tensiunea de 3 V cînd $I_C \approx I_E=3 \text{ mA}$. Tensiunea bazei este cu 0,7 V pozitivă față de emitor, deoarece este tranzistor NPN. Pe rezistența R_B de 2—3 $\text{K}\Omega$, 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: $I_C=3 \text{ mA}$, $U_E=3 \text{ V}$, $U_B=3,7 \text{ V}$, $U_{CE}=9 \text{ V}$, $U_{RAA}=+4 \text{ V}$.

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

● 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-

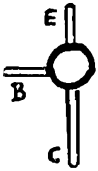
TIP	POL	f_T (MHz)	LIMITE MAXIME			C_{re} (pF)	A_p (dB)	F (dB)
			U_{CB0} (V)	I_C (mA)	P_d (mW)			
AF 106	PNP	220	25	10	60	0,45	16	7
AF 109 R	PNP	400	20	10	60	0,25	16,5	4,5
AF 139	PNP	500	20	10	60	0,25	17,5	4
AF 139							15	5,2
AF 139							11	7
AF 239	PNP	650	20	15	60	0,23	21,5	3
AF 239							18	4
AF 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 R

Ia				Terminale	FUNȚIA
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)

Ia				Terminale	FUNCTIA
U_{CE} (V)	I_C (mA)	MITz	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, rezultînd 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:

Punctul de funcționare $U_{CE}=10\text{ V}$ $I_C = 2\text{ mA}$	(MHz)	$ Y_{21b} $ mA/V		
		BF 180	BF 181	BF 200
	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 — fiecare 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:

$U_{CE0}=40 \dots 70$ 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) avînd 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_s 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:

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

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

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

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

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 $P_a = 50 \text{ W}$, 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.

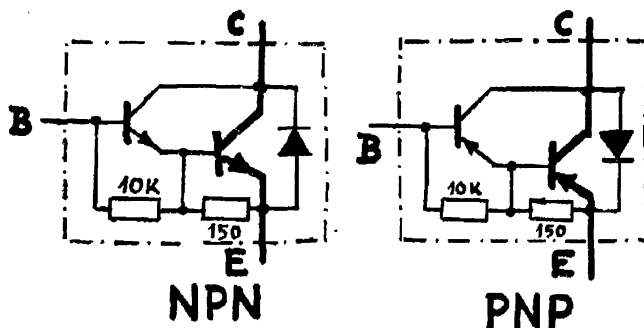


Fig. 28. Tranzistoare darlington

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.c. 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_{CBO} V	U_{CEO} V	I_C A	$P_{d\infty}$ W	B la min I_C (A)		U_{CE} sot la V I_C (A)		f_t MHz	Capsulă
BD262-BD263*	60	60	4	36	750	1,5	2,5	1,5	7	SOT32 TO126
BD266-BD267*	60	60	8	60	750	3	2	3	10	TO220
BD645-BD646	80	60	8	60	750	3	2	3	10	TO220
BD647-BD648	100	80	8	60	750	3	2	3	10	TO220
BD649-BD650	120	100	8	60	750	3	2	3	10	TO220
BD675-BD676	45	45	4	40	750	1,5	2,5	1,5	7	TO126
BD677-BD678	60	60	4	40	750	1,5	2,5	1,5	7	TO126
BD679-BD680	80	80	4	40	750	1,5	2,5	1,5	7	TO126
BD681-BD682	100	100	4	40	750	1,5	2,5	1,5	7	TO126
BDX62-BDX63*	60	60	8	90	1 000	3	2	3	12	TO3
BDX64-BDX65*	80	60	16	150	1 000	10	2	5	10	TO3
BDX66-BDX67*	60	60	16	150	1 000	10	2	10	8	TO3

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	$U_{CEO} = 60 \text{ V}$
BD 262 A—BD 263 A	$U_{CEO} = 80 \text{ V}$
BD 262 B—BD 263 B	$U_{CEO} = 100 \text{ V}$
BDX62—BDX63	$U_{CEO} = 60 \text{ V}$
BDX62 A—BDX63 A	$U_{CEO} = 80 \text{ V}$
BDX62 B—BDX63 B	$U_{CEO} = 100 \text{ V}$
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	$U_{CEO} = 60 \text{ V}$
BDX66 A—BDX67 A	$U_{CEO} = 80 \text{ V}$
BDX66 B—BDX67 B	$U_{CEO} = 100 \text{ V}$

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:

$$\begin{aligned}
 U_{CEO} &= 200 \dots 2\,000 \text{ V} \\
 I_C &= 3 \dots 10 \text{ A} \\
 P_a &= 5 \dots 15 \text{ W} \\
 f_T &= 5 \dots 30 \text{ MHz.}
 \end{aligned}$$

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 cca. 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.

Luind 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 sint 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.

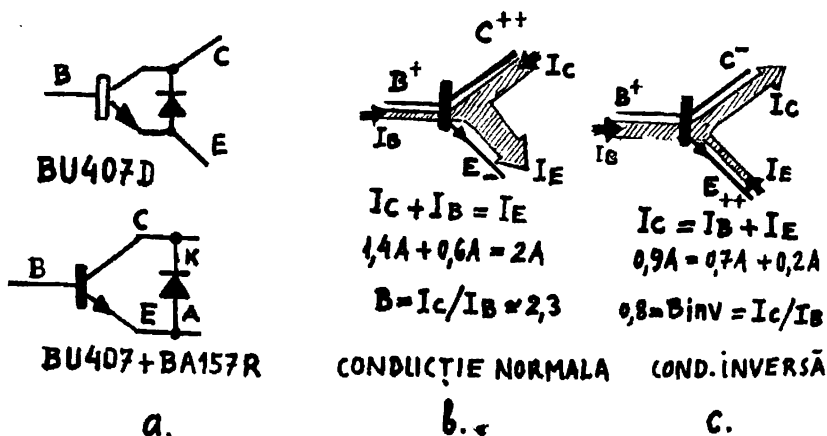


Fig. 29.

* 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

Transistor	U_{CBO} V	U_{CEV} U_{CEX} V	U_{CBO} V	I_C A	I_B A	B		T_j °C	$R_{thj\theta}$ °C/W	P_d W	F_t MHz
						$U_{CE sat}$ V	$I_C (A)$ $I_C (A)$				
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	1300	1300	600		2	5/2	2,5/2	115	2,5	10	8
BU 205	1500	1500	700	2,5	2	5/3	2,3/2	115	1,5	10	8
BU 206	1700	1700	800		2	5/2	2/2	115	2,5	10	8
BU 207	1300	1300	600	5	4	5/4,5	2,5/4,5	115	1,6	12,5	7
BU 208	1500	1500	700	5	4	5/4,5	2,3/4,5	115	1,6	12,5	7
BU 209	1700	1700	800	5	4	5/4,5	2/4,5	115	1,6	12,5	7
BUY71	2200	2200	1000	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 puternic 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.	BUX30	BUX40	BUX41	BUX42	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

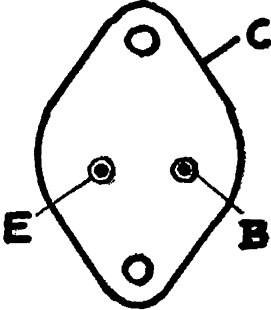
		
CAPSULA SOT32 SAU T0126	CAPSULA TO8	CAPSULA TO220AB
BD135, 137, 139 BD136, 138, 140	2N3050, BD141, BD142 2N3442, 2N4347, 2N4348 2N3771, 2N3722, 2N3773	BU406, BU407 BU407D
BD433, 435, 437 BD434, 436, 438 BD439, BD441 BD440, BD442	BD130, BU120, BU126, BU312	BD645-BD646 BD647-BD648 BD649-BD650
BD533, 535, 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, 75, 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.

* * *