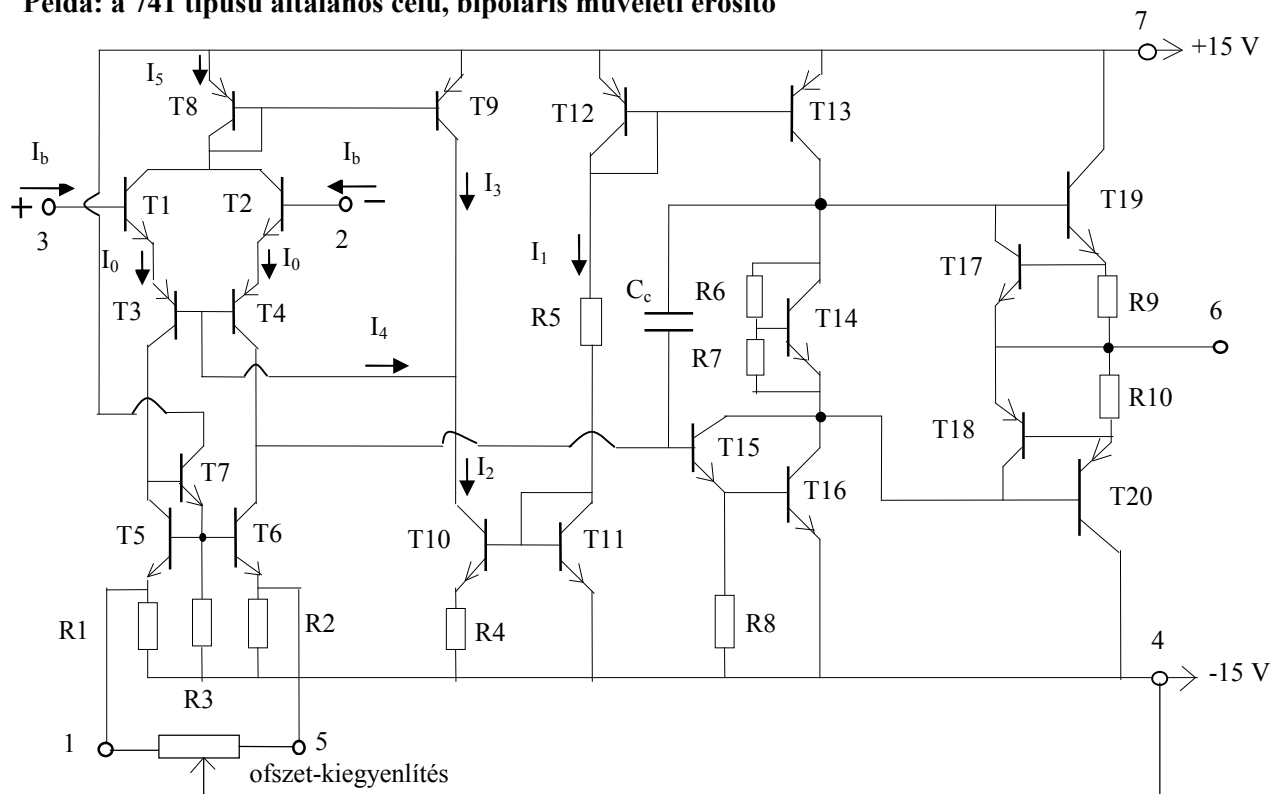


7. fejezet

A MŰVELETI ERŐSÍTŐK BELSŐ FELÉPÍTÉSE

Példa: a 741 típusú általános célú, bipoláris műveleti erősítő



Munkapontok:

A T12 - R5 - T11 ág két áramtükörnek is bemeneti ága:

1. A T11 - T10-esnek, amely a T9 - T8-as áramtükörrel együtt a bemeneti differenciálerősítő munkaponti áramát állítja be.
2. A T12 - T13-as áramtükörnek, amely a Darlington-párral felépített földelt emitteres főerősítő munkaponti áramát állítja be.

A bemeneti ág I_1 árama ($R_5 = 39 \text{ k}$): $I_1 = (2 \cdot 15 - 2 \cdot 0,6)/39 = 0,7 \text{ mA}$

1. Az $R_4 = 5 \text{ k}$ miatt csökkentő áttételű T11 - T10-es áramtükör kimeneti árama (a gyártó közlése szerint): $I_2 = 35 \mu\text{A}$. Ennek az áramnak egy része a T3, T4 tranzisztorok együttes bázisárama: $I_4 = 5 \mu\text{A}$, a fennmaradó része $I_3 = I_5 = 30 \mu\text{A}$ adja a bemeneti fokozat együttes munkaponti áramát, vagyis a differenciálerősítő mindkét oldalán a munkaponti áram: $I_0 = I_5/2 = 15 \mu\text{A}$.

Ez az áram és a T1, T2 bemeneti tranzisztorok katalógus szerinti bázisárama ("bias" áram, vagy a műveleti erősítő munkaponti bemeneti árama): $I_b = 100 \text{ nA}$ együtt a T1 és T2 tranzisztorok áramerősítési tényezőjére a következő értéket adja: $\beta_{1,2} \approx B_{1,2} = 15\,000/100 = 150$.

2. A főerősítő felé az áramátvitel 1:1, vagyis a T16 (és a T14) munkaponti árama: 0,7 mA (elhanyagolva T15 áramát, illetve az R6 - R7 bázisosztó áramát).

3. A teljesítményerősítő végfokozat osztályát a T14 tranzisztorral felépített két-pólus szabja meg ($R_6 = 4,5 \text{ k}$; $R_7 = 7,5 \text{ k}$): $2V_B = 0,6(R_6 + R_7)/R_7 = \dots = 0,96 \text{ V}$

Ez több, mint a teljesítménytranszisztorok küszöb feszültségének kétszerese ($2 \cdot [0,35 \dots 0,4] = 0,7 \dots 0,8$ V), de kevesebb, mint $2 \cdot 0,6 = 1,2$ V, vagyis a beállított osztály AB.

AC működés:

Bemeneti differenciál-erősítő

Kétoldalt a T1 - T3, ill. a T2 - T4 tranzisztorok ún. komplementer kaszkód elrendezésűek. A T3 és T4 tranzisztorok (amelyek laterális p-n-p tranzisztorok) közös bázisa virtuálisan földelt, ha a bemeneti vezérlés tisztán szimmetrikus (mivel a közös bázis a kapcsolás szimmetria-tengelyében van). Ilyenkor a bemeneti feszültség négy tranzisztor bázis-emitter köre között oszlik meg, ezért mind a négy tranzisztor áramváltozását $u_{bes}/4$ és g_{21} összeszorozásával lehet kiszámítani (ahol g_{21} a T1...T4 tranzisztoroknak az egyforma munkaponti áramok kapcsán egyenlőnek feltételezett transzkonduktancia-paramétere). A T5 - T6 - T7 javított áramtükör ($R3 = 50$ k) fázisösszegzést valósít meg, ezért a bemeneti differenciál-erősítő transzfer admittanciája kétszerese az egy tranzisztorra számított értéknek ($g_{21}/4$ -nek):

$$G_{A1} = 2g_{21}/4 = 0,5g_{21} = 0,5 \cdot 15 \mu\text{A}/26 \text{ mV} \approx 0.29 \text{ mS}$$

A bemeneti fokozat maximális kimeneti árama a két oldal munkaponti áramának összege:

$$I_{ki1 \max} = 2 \cdot 15 = 30 \mu\text{A}$$

A bemeneti ellenállás (r_{BB} -t elhanyagolva):

$R_{bes} \approx 4(1 + \beta)r_E \approx 4 \cdot 150 \cdot 26 \text{ mV}/15 \mu\text{A} \approx 1 \text{ Mohm}$ (ami megfelel a katalógusban megadott értéknek).

A továbbiakban a bemeneti fokozat kimeneti ellenállását végtelennek vesszük ($g_{22} = 0$): $R_{ki1} = \infty$.

Ha tisztán közös bemeneti vezérlést alkalmazunk, a T3 és T4 közös bázisa nem lesz virtuális föld, sőt – mivel a közös bázispont nagy (a $g_{22} = 0$ közelítéssel végtelen nagy) belső ellenállású pontra csatlakozik – akadálytalanul követi a bemeneti közös feszültség változását, a bemeneti tranzisztorok nem vezérlődnek (nem lép fel bennük áramváltozás), ezért a műveleti erősítő közösjel-elnymása elvileg végtelen, a valóságban igen nagy (a katalógusadat: $CMRR = 70 \dots 90$ dB).

Az ofszet-kiegyenlítés külső potenciométerrel lehetséges. Mivel $R1 = R2 = 1$ k, a potenciométer értéke pl. 10 kohm lehet.

Főerősítő (FE Darlington tranzisztor-párral):

A T15 - T16 Darlington emitter-köri visszacsatolás nélküli földelt emitteres fokozatként működik, amelynek párhuzamos ellenállása a T13-as és a Darlington pár $1/g_{22}$ -je valamint végfokozaton keresztül betranszformálódó terhelő ellenállás (az utóbbi R_L függvénye, de mivel a T19-es és T20-as tranzisztorok ún. nagy áramerősítésű tranzisztorok $1/\beta_{19,20} = 500$), a terhelő ellenállás szokásos $1 \dots 10$ k értékeinél ez az összetevő elhanyagolható a párhuzamos eredő számításakor, a megmaradó két $1/g_{22}$ eredője pedig mintegy 50 k-nak vehető, így a főerősítő feszültségerősítése:

$$A_{u2} = -(g_{21}/2)50 = -[(0,7/26)/2]50 = -673$$

(A Darlington g_{21} -e a T16-os tranzisztor g_{21} -ének fele.)

A főerősítő bemeneti ellenállása ($\beta = 100$ -zal számolva: $h_{11(T16)} = 100 \cdot 26/0,7 = 3,7$ k):

$$R_{be2} = 2 h_{11(T15)} = 2 \cdot 100 h_{11(T16)} = 740 \text{ k}$$

Ezzel a bemeneti differenciál-erősítő feszültségerősítése:

$$A_{u1s} = G_{A1} R_{be2} = 0.29 \cdot 740 = 215$$

Mivel a teljesítményerősítő feszültségerősítése gyakorlatilag $A_{u3} \approx 1$, az eredő szimmetrikus erősítése (az előjellel nem törődve):

$$A_{us} = A_{u1s} A_{u2} A_{u3} = 215 \cdot 673 = 145\,000$$

A katalógusból: $A_{us} = 20\,000 \dots 200\,000$

Frekvenciafüggés: A $C_c = 30$ pF-os kapacitás domináns időállandót határoz meg a főerősítő bemeneti ellenállásával együtt. A Miller hatással a főerősítő bemenetére transzformálódó kapacitás:

$$C_1^* = (1 + 673) 30 = 20220 \text{ p.}$$

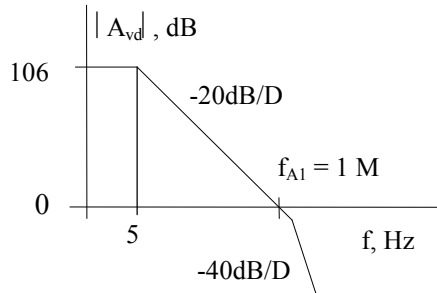
Figyelembe véve R_{be2} fent kiszámított értékét a domináns törésponti frekvencia:

$$\omega_d = 1/20 \cdot 220 \cdot 10^{-12} \cdot 740 \cdot 10^3 = 67 \text{ r/s, amiből } f_d = 10 \text{ Hz}$$

A katalógusbeli értéktartomány: 5 ... 10 Hz.

A szimmetrikus feszültségerősítés Bode diagramja:

:



A "slew rate" (= maximális kimeneti jelváltozási sebesség) és a nagyjelű határfrekvencia fogalma:

A "slew rate" (SR) a kimeneti jel maximális jelváltozási sebessége:

$$SR = (\Delta V_{ki}/\Delta t)_{\max} = \Delta V_{C(T16)}/\Delta t = (i_{ki1 \max} \Delta t)/(C_c \Delta t) = i_{ki1 \max}/C_c = 30 \mu\text{A}/30\text{pF} = 10^6 \text{V/s} = 1 \text{V}/\mu\text{s}$$

A katalógusadat: 0,5 V/ μs .

- A nagyjelű határfrekvencia adott kimeneti amplitúdóra adható meg (a lineáris tartományon belül, amely megközelítőleg $\pm 10 - 12 / V U_t = \pm 15 \text{ V}$ esetén):

$$\omega_{njh} U_{ki p \max} = SR \quad \Rightarrow \quad \omega_{njh} = 10^6 / 10 = 10^5 \text{ r/s} \quad \Rightarrow \quad f_{njh} = 10 \text{ kHz,}$$

ami megfelel a katalógusnak.

Teljesítmény végfokozat:

Túláram-védelem: $R_E = R_9 = R_{10} = 25 \text{ ohm}$, ezért az áramhatárolás a következő kimeneti áramértéknél kezdődik: $i_{ki \max} = 0,4 \text{V}/25 \text{ ohm} = 16 \text{ mA}$ (működési elve: amikor az R_E ellenálláson eső feszültség eléri a T107, ill. A T18 tranzisztor küszöbfeszültségét, ezek a tranzisztorok vezetésbe mennek és a teljesítménytranzisztorok többlet bázisáramát "kisöntölik", így ez a többlet-bázisáram egyszeres értékével érkezik meg a kimenetre anélkül, hogy megszoroznád a teljesítménytranzisztorok áramerősítésével, továbbá az így keletkező kimeneti áramnövekmény kisebb, mint a a főerősítő FE fokozat munkaponti árama /0,7 mA/).

$R_{out} = 25 + R_B/h_{21} \approx 125 \text{ ohm}$ (a katalógusadat: 75 ohm).

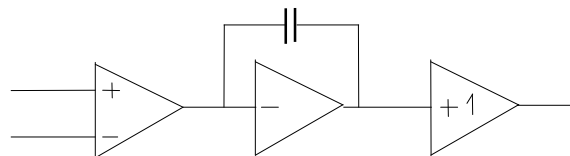
Kivezélhetőség (maximális kimeneti feszültség-amplitúdó):

$$: \quad u_{ki p \max} = U_t - 2U_{BE} - i_{ki \max} R_E = 15 - 2 \cdot 0,6 - 0,4 = 13,4 \text{ V}$$

Linearitási tartomány: $u_{kip \max \text{ lin}} = (-12 \dots +12) \text{ V}$ (némi tartalékkal)

Összefoglalás:

Bemeneti diff.er. Főerősítő Teljesítményer.



nagy CMRR
ofszet-kiegyen-
lítés
fázisösszegzés
nagy R_{bes} , R_{bek}
és A_{u1s}

nagy A_{u2} (FE)
frekvencia-
kompenzáció

kompl. E-kö-
vető
túláram-
védelem
kis R_{ki}