

DC DESIGNFORLØB

Effektforsyningen

Effektforsyningen planlægges med start ved udgangen. Ved en effekt på 30W i 8Ω skal udgangsspændingen være $V_{O\ RMS} = 15,5V$ med amplituden $V_O = 22V$. Der skal være plads til to basis-emitter strækninger for udgangstrinnet, noget lignende til den øvrige elektronik og ripple i effektforsyningen og 10% på netspændingen så effektforsyningen bør placeres cirka 5V højere end kravet til V_O og det giver værdien til +27V.

$$P_O := 30\ W \quad R_L := 8\ \Omega$$

$$P_O = \frac{V_{rms}^2}{R_L} \quad V_{rms} := \sqrt{P_O \cdot R_L} = 15.49\ V$$

$$V_O := V_{rms} \cdot \sqrt{2} = 21.91\ V$$

$$V_{CC} := 1.1 \cdot 22\ V + 2 \cdot 0.7\ V + 2 \cdot 0.7\ V = 27\ V$$

$$V_{EE} := -V_{CC} = -27\ V$$

Strømniveauet

Strømniveauet i udgangstrinnet estimeres. Med 8Ω som den nominelle belastning bør der tages udgangspunkt i $R_L = 6\Omega$ da en højttaler har en svingpole der har en DC modstand R_{DC} på typisk 80% af den nominelle værdi.

Strømmens spidsværdi bliver $I_{O\ PEAK} = 3,65A$ og der må forventes en middelstrøm fra effektforsyningen på $I_{DC} = 1,16A$. Hvis den værdi holder så bliver den tilførte effekt på 67W ved 30W afgivet i nominelt 8Ω og virkningsgraden er 45%.

$$R_L := 6\ \Omega$$

$$I_{OPEAK} := \frac{V_O}{R_L} = 3.65\ A$$

$$I_{DC} := \frac{I_{OPEAK}}{\pi} = 1.16\ A \quad I_{DC} \text{ half wave}$$

$$P_{CC} := V_{CC} \cdot (I_{OPEAK} - I_{DC}) = 67.21\ W$$

$$\eta := \frac{P_O}{P_{CC}} \cdot 100 = 44.64$$

Effekttabet

Effekttabet i udgangstransistorerne T_{10} og T_{11} bliver 24W samlet og derfor forventes et tab på 12W i hver transistor. Det danner udgangspunktet for en senere beregning af køleprofilen.

$$P_T := \left(\frac{2}{\pi}\right) \frac{V_{CC} \cdot V_O}{R_L} - \frac{V_O^2}{2 R_L} = 22.76\ W \quad P_T := 0.4 \cdot \frac{V_{CC}^2}{2 R_L} = 24.3\ W$$

Drivertrinnet

Drivertrinnet skal levere basisstrømmen til udgangstransistorerne 2N3055 og MJ2955 og med $\beta_{10} = \beta_{11} = 20$ som strømforstærkning i T_{10} og T_{11} behøves en strøm på 183mA så der afsættes 1/20 af effekttabet i drivertransistorerne T_8 og T_9 eller 0,6W i hver transistor.

Man bør være meget konservativ og dimensionere efter en transistor der kan håndtere mindst 1W da effekten varierer som funktion af udgangsspændingen. Der bruges en transistor på 10W uden et køleprofil og ellers må man planlægge køling af disse transistorer.

$$\beta_{10} := 20$$

$$I_B := \frac{I_{OPEAK}}{\beta_{10}} = 182.57 \text{ mA}$$

$$P_{TO} := \frac{P_T}{20} = 1.22 \text{ W}$$

$$P_{T9} := \frac{P_{TO}}{2} = 0.61 \text{ W}$$

Basisstrømmen

Basisstrømmen til drivertrinnet er 5 mA ved en strømforstærkning på $\beta_8 = \beta_9 = 40$.

$$\beta_8 := 40$$

$$I_B := \frac{183 \text{ mA}}{\beta_8} = 4.58 \text{ mA}$$

Modstanden R_E (R_7) i strømkilden

$$I_C = \frac{U_{BE}}{R_E} \xrightarrow{\text{solve}, R_E} \frac{U_{BE}}{I_C}$$

$$R_E := \frac{0.7 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 35 \text{ } \Omega$$

Indgangstrinnet

Indgangstrinnet skal levere basisstrømmen til T_5 som med $\beta_5 = 420$ er på 25 μ A. Der bør vælges en mange gange højere strøm i den fælles emitter for at holde differentialtrinnets balance nær ved fifty-fifty så strømmen vælges til $I_E = 5 \text{ mA}$. Det indstilles ved modstanden R_E til 5,1k Ω .

$$I_E := 5 \text{ mA}$$

$$R_E := \frac{27 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{I_E} = 5.26 \text{ k}\Omega$$

$$R_E := 5.1 \text{ k}\Omega$$

Forstærkningen

Forstærkningen indstilles så fuld udstyring på $V_{O \text{ RMS}} = 15,5 \text{ V}$ opnås ved $V_{I \text{ RMS}} = 0,5 \text{ V}$ på indgangen og indstilles af $A_{CL} = 1 + R_6/R_5 = 31$. Et valg af $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ giver $R_4 = 30 \text{ k}\Omega$.

$$A_{CL} := \frac{15.5}{0.5} = 31$$

$$R_3 := 1 \text{ k}\Omega$$

$$A_{CL} = 1 + \frac{R_4}{R_3} \xrightarrow{\text{solve}, R_4} 30 \cdot \text{k}\Omega$$

AC DESIGNFORLØB

Den lave grænsefrekvens

Den lave grænsefrekvens fastsættes af C_1 og R_2 til 1,6Hz og kondensator C_4 skal blot være "stor" så spændingsvariationen over den bliver "lille" i sammenligning med værdien over R_5 for at holde forvrængningen nede. Det skyldes at en aluminium elektrolyt kondensator ikke er en lineær komponent. En typisk værdi på 100 μF giver 1,6 Hz.

$$C_1 := 10 \text{ }\mu\text{F}$$

$$C_4 := 100 \text{ }\mu\text{F}$$

$$R_2 := 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 := 1 \text{ k}\Omega$$

$$f_1 := \frac{1}{2 \pi \cdot R_2 \cdot C_1} = 1.6 \text{ Hz}$$

$$f_2 := \frac{1}{2 \pi \cdot R_3 \cdot C_4} = 1.6 \text{ Hz}$$

Transkonduktansen

Transkonduktansen g_m i differentialtrinnet $T_1 \dots T_4$ beregnes til 96mS.

$$I_E := 5 \text{ mA}$$

$$U_T := 26 \text{ mV}$$

$$g_m := \frac{I_E}{2 \cdot U_T} = 0.096 \text{ S}$$

Åben-sløjfe forstærkningen

Åben-sløjfe forstærkningen beregnes fra transkonduktansen, strømforstærkningen i T_5 og indgangsmodstanden på udgangstrinnet ved basis af T_8 og T_9 der giver et estimat på R_C i formlen.

Indgangsmodstanden for en emitterfølger er belastningen R_L gange med den samlede strømforstærkning til $R_C = 4,8 \text{ k}\Omega$. DC forstærkningen beregnes derefter til $A_{DC} = 194\ 000$ ved en belastning på $R_L = 6 \Omega$.

$$\beta_8 := 40$$

$$\beta_{10} := 20$$

$$R_C := \beta_8 \cdot \beta_{10} \cdot 6 \Omega = 4.8 \text{ k}\Omega$$

$$\beta_5 := 420$$

$$A_{DC} := g_m \cdot \beta_5 \cdot R_C = 193.8 \cdot 10^3$$

Kompenseringen

Kompenseringen skal sikre stabilitet ved at reducere forstærkningen til en ved den laveste af de høje poler der antages givet af R_C og C_μ for T_5 , T_8 og T_9 i parallel.

Ved en værdi for C_μ på 3 pF findes $f_H = 11,1 \text{ MHz}$ og den dominerende pol f_0 findes til 14 Hz. Ved den aktuelle forstærkning på $A_{CL} = 31$ kan den dominerende pol f_P findes til 442 Hz som er tilstrækkelig for stabilitet.

Ved Miller-transformation findes modstande og kapaciteter, der resulterer i poler.

$$I_C := \frac{27 \text{ V}}{4.8 \text{ k}\Omega} = 5.6 \text{ mA} \quad r_C := R_C$$

$$g_{m5} := \frac{I_C}{U_T} = 0.216 \text{ S}$$

$$A := g_{m5} \cdot R_C = 1038.5$$

$$r_{\pi 5} := \frac{\beta_5}{g_{m5}} = 1.9 \text{ k}\Omega$$

$$f_T := \frac{300 \text{ MHz} \cdot I_C}{10 \text{ mA}} = 168.75 \text{ MHz}$$

$$C_{\pi 5} := \frac{g_m}{2 \pi \cdot f_T} = 90.7 \text{ pF}$$

$$C_\mu \approx 1 \dots 5 \text{ pF}$$

$$C_{\mu 5} := 3 \text{ pF}$$

$$C_{MO} := C_{\mu 5}$$

$$C_{MI} := (1 + A) C_{MO} = 3.1 \text{ nF}$$

Polen ved ind- og udgangen findes.

$$f_1 := \frac{1}{2 \pi \cdot r_{\pi 5} \cdot (C_{\pi 5} + C_{MI})} = 25.5 \text{ kHz}$$

$$f_2 := \frac{1}{2 \pi \cdot r_C \cdot C_{MO}} = 11.1 \text{ MHz}$$

Den nye dominerende pol findes ud fra den høje pol ved 11,1 MHz.

$$f_H := f_2$$

$$f_0 \leq \frac{f_H \cdot A_{CL}}{4 A_{DC}}$$

$$f_0 := \frac{f_H}{4 A_{DC}} = 14.3 \text{ Hz}$$

Den dominerende pol kan hæves med forstærkningen A_{CL} .

$$f_0 := \frac{f_H \cdot A_{CL}}{4 A_{DC}} = 441.9 \text{ Hz}$$

Kompenseringskondensatoren kan nu vælges.

$$C_C := \frac{1}{2 \pi \cdot f_0 \cdot \beta_5 \cdot R_C} = 178.7 \text{ pF}$$

$$C_C := 180 \text{ pF}$$

Slew rate

Slew rate værdien bliver $SR = 28 \text{ V}/\mu\text{s}$ der fuldt tilstrækkelig for musikformat som er begrænset til $2 \text{ V}/\mu\text{s}$ ved frekvensen 20 kHz.

$$SR = 2 \pi \cdot f \cdot V_O = 2 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$$

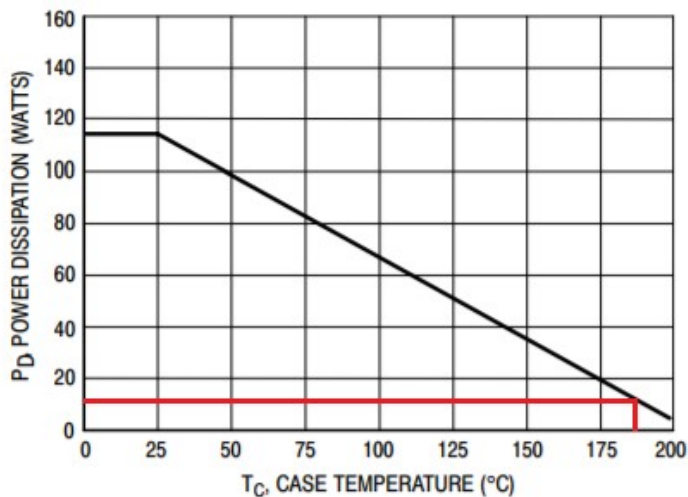
$$SR := \frac{I_E}{C_C} = 27.8 \frac{\text{V}}{\mu\text{s}}$$

KØLEPROFIL

Chiptemperaturen

Køleprofilen for udgangstransistorerne beregnes ud fra specifikationen af hvad temperaturen på transistorens chip må være ved 12 W afsat effekt. Det benævnes T_j for *junction temperature*.

Chiptemperaturen må for 2N3055 maksimalt være 185°C ved 12 W afsat effekt, men man bør aldrig gå til grænsen så her fastsættes værdien konservativt til $T_j = 100^\circ\text{C}$. Med en omgivelsestemperatur på 25°C skal temperaturstigningen holdes nede på 75°C.



Den termiske modstand

Den termiske modstand fra junction til monteringsflade er 1,52°C/W ifølge databladet så kravet bliver omkring 4,7 °C/W for køleprofilens termiske modstand til omgivelserne (køleprofilens K værdi).

$$R_{thhs} := \frac{100 \text{ K} - 25 \text{ K}}{12 \text{ W}} - 1.52 \frac{\text{K}}{\text{W}} = 4.73 \frac{\text{K}}{\text{W}}$$

SOA

Maksimum ratings for 2N3055 er 115W, 60V og 15A.

Grænseværdierne bliver derfor:

$$\frac{115 \text{ W}}{60 \text{ V}} = 1.9 \text{ A}$$

$$\frac{115 \text{ W}}{15 \text{ A}} = 7.7 \text{ V}$$