

Stroomruisberekening van de Stroombron Schakeling

1 Introductie

In deze berekening analyseren we de stroomruis van een stroombron schakeling met een NPN-transistor, opamp, en spanningsreferentie. De belangrijkste ruisbronnen zijn de $1/f$ -ruis en de witte ruis van zowel de spanningsreferentie als de opamp, en de thermische ruis van de weerstand.

2 Stap 1: Ruis van de spanningsreferentie

De spanningsreferentie heeft een $1/f$ -ruis die dominant is tot aan een cutoff frequentie $f_{\text{cutoff}} = 10 \text{ Hz}$, met een witte ruis van $U_{\text{white, ref}} = 2 \mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ boven deze frequentie.

We berekenen de $1/f$ -ruis met behulp van de volgende integratieformule:

$$U_{n,\text{ref, flicker}} = A_{\text{ref}} \cdot \ln\left(\frac{f_{\text{cutoff}}}{f_{\text{low}}}\right) \quad (1)$$

waarbij $A_{\text{ref}} = U_{\text{white, ref}} \cdot f_{\text{cutoff}}$ en $f_{\text{low}} = 0.1 \text{ Hz}$ de lagere frequentiegrens is.

Substitueren geeft:

$$A_{\text{ref}} = 2 \times 10^{-6} \times 10 = 2 \times 10^{-5} \text{ V} \quad (2)$$

$$U_{n,\text{ref, flicker}} = 2 \times 10^{-5} \cdot \ln\left(\frac{10}{0.1}\right) = 2 \times 10^{-5} \cdot \ln(100) = 9.2103 \times 10^{-5} \text{ V} \quad (3)$$

3 Stap 2: Ruis van de opamp

De opamp heeft ook $1/f$ -ruis tot $f_{\text{cutoff}} = 10 \text{ Hz}$, met een witte ruis van $U_{\text{white, opamp}} = 90 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$.

We berekenen de $1/f$ -ruis op dezelfde manier:

$$U_{n,\text{opamp, flicker}} = A_{\text{opamp}} \cdot \ln\left(\frac{f_{\text{cutoff}}}{f_{\text{low}}}\right) \quad (4)$$

waarbij $A_{\text{opamp}} = U_{\text{white, opamp}} \cdot f_{\text{cutoff}}$ en $f_{\text{low}} = 0.01 \text{ Hz}$.
Substitueren geeft:

$$A_{\text{opamp}} = 90 \times 10^{-9} \times 10 = 9 \times 10^{-7} \text{ V} \quad (5)$$

$$U_{n,\text{opamp, flicker}} = 9 \times 10^{-7} \cdot \ln\left(\frac{10}{0.01}\right) = 9 \times 10^{-7} \cdot \ln(1000) = 2.0723 \times 10^{-6} \text{ V} \quad (6)$$

4 Stap 3: Omrekenen naar stroomruis

De spanningsruis van de spanningsreferentie en de opamp wordt nu omgezet naar stroomruis door de weerstand $R = 24 \text{ k}\Omega$ te gebruiken.

Voor de spanningsreferentie geldt:

$$I_{n,\text{ref}} = \frac{U_{n,\text{ref, flicker}}}{R} = \frac{9.2103 \times 10^{-5}}{24000} = 3.8376 \times 10^{-9} \text{ A}/\sqrt{\text{Hz}} \quad (7)$$

Voor de opamp geldt:

$$I_{n,\text{opamp}} = \frac{U_{n,\text{opamp, flicker}}}{R} = \frac{2.0723 \times 10^{-6}}{24000} = 8.6346 \times 10^{-11} \text{ A}/\sqrt{\text{Hz}} \quad (8)$$

5 Stap 4: Thermische ruis van de weerstand

De thermische ruis van de weerstand wordt berekend met de formule:

$$I_{n,\text{resistor}} = \sqrt{\frac{4k_B T}{R}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.38 \times 10^{-23} \times 300}{24000}} \quad (9)$$

$$I_{n,\text{resistor}} = \sqrt{\frac{1.656 \times 10^{-20}}{24000}} = \sqrt{6.9 \times 10^{-25}} = 8.3066 \times 10^{-13} \text{ A}/\sqrt{\text{Hz}} \quad (10)$$

6 Stap 5: Totale stroomruis

De totale stroomruis is de kwadratische som van de stroomruiscomponenten van de spanningsreferentie, de opamp, en de weerstand:

$$I_{n,\text{total}} = \sqrt{I_{n,\text{ref}}^2 + I_{n,\text{opamp}}^2 + I_{n,\text{resistor}}^2} \quad (11)$$

Substitueren geeft:

$$I_{n,\text{total}} = \sqrt{(3.8376 \times 10^{-9})^2 + (8.6346 \times 10^{-11})^2 + (8.3066 \times 10^{-13})^2} \quad (12)$$

$$I_{n,\text{total}} = \sqrt{1.4727 \times 10^{-17} + 7.4557 \times 10^{-21} + 6.9 \times 10^{-25}} = \sqrt{1.4727 \times 10^{-17}} = 3.8377 \times 10^{-9} \text{ A}/\sqrt{\text{Hz}}$$

(13)