

Bsp Rauschen Operationsverstärker

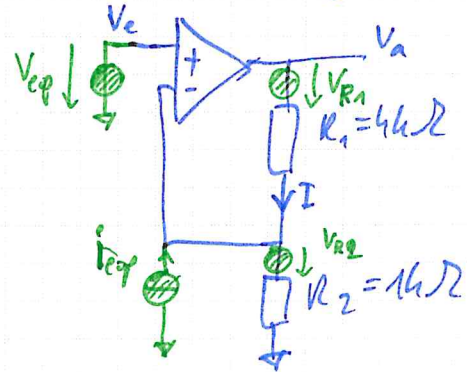
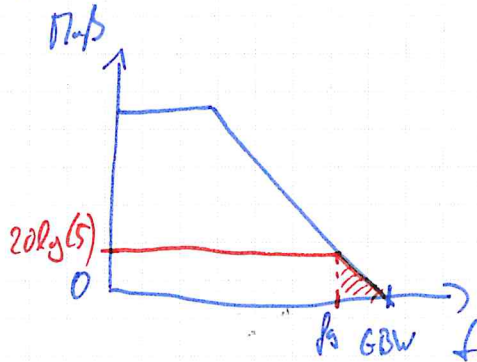
Elektrotechnik 3  
6.11.2023

$T = 300K$

$V_{eop} = \frac{3 \mu V}{\sqrt{Hz}}$

$I_{eop} = 30 \frac{pA}{\sqrt{Hz}}$

$GBW = 10 MHz$



Ges:  $V_{a, rms}$

- Verstärker
- Quellen einzeln, Effektivwert berechnen
- Beitrag der Quellen zum Ausgang

Verstärkung:  $V_u = \frac{V_a}{V_e} = \frac{I \cdot (R_1 + R_2)}{I \cdot R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_2} = 5$

$f_3 = \frac{GBW}{V_u} = 2 MHz$

$V_{eop, rms} = V_{eop} \sqrt{f_3 \frac{\pi}{2}} = 5.3 \mu V$

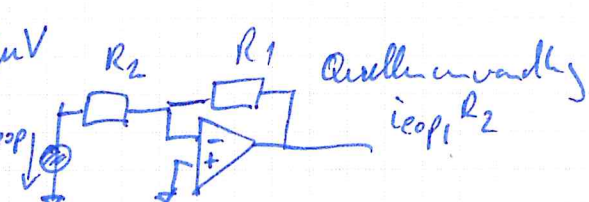
$I_{eop, rms} = I_{eop} \sqrt{f_3 \frac{\pi}{2}} = 53 pA$

$V_{R1, rms} = \sqrt{4kT R_1 f_3 \frac{\pi}{2}} = 14.4 \mu V$

$V_{R2, rms} = 7.2 \mu V$

1. Quelle  $\rightarrow V_{a, eop, rms} = V_{eop, rms} \cdot V_u = 26.5 \mu V$

2. Quelle  $V_{i, eop, rms} = I_{eop} \cdot R_2 \left| \frac{R_1}{R_2} \right| = I_{eop} \cdot R_1$



$V_{a, i, eop, rms} = I_{eop} \cdot R_1 = 26.2 \mu V$   
 $V_{a, R1, rms} = V_{R1, rms} = 14.4 \mu V$

$V_{a, R2, rms} = V_{R2, rms} \cdot \frac{R_1}{R_2} = 28.4 \mu V$

$V_{a, rms} = \sqrt{V_{a, eop, rms}^2 + V_{a, i, eop, rms}^2 + V_{a, R1, rms}^2 + V_{a, R2, rms}^2} = 41.43 \mu V$

$V_{app} = 6.6 \cdot V_{a, rms} = 273 \mu V$



Frequenzverhalten eines Bipolartransistors

Elektronik 3  
25.10.23

Verstärkungsbandbreiteprodukt

gain - bandwidth product

$$GBW = v \cdot f \quad \begin{array}{l} v \text{ Verstärkung} \\ f \text{ Frequenz} \end{array}$$

$$GBW = f_g \cdot \beta = f_T \cdot 1$$

$f_T$ : Transitfrequenz

Elektronik 3  
30.10.23

### Rauschen

- Fouriertransformation

- Rauschspannen  $\frac{V}{\sqrt{Hz}}$

Rauschhöhe  $\frac{A}{\sqrt{Hz}}$

Rauschspannungseffektivwert

root mean square  
rms

$$u_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} \quad \text{analog} \quad = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} u_i^2} \quad \text{Diskret, zeitlich}$$

Oscilloscope  $u_{eff} = 1.4 \mu V$   $N = 1024$   $\frac{f_{maxFFT}}{f_{minFFT}} = N$

~~$$u_{ix} = \sqrt{u_{eff}^2 \cdot N}$$~~

$$u_{ix} = \sqrt{\frac{u_{eff}^2}{N}} = \frac{u_{eff}}{\sqrt{N}}$$

$$u_{eff} = \sqrt{\sum_{i=0}^{N-1} u_i^2}$$

frequenzbereich

$$20 \log u_{ix} = -87 \text{ dBV}$$

Aufteilen des Effektivwertes auf Frequenzen:  ~~$20 \log \left( \frac{N \cdot u_{eff}}{2} \right)$~~

$$10 \log(N_{FFT})$$

Weißes Rauschen: Werte über alle Frequenzen konstant





Bsp rausden

Elektronik 3  
30.10.23

$V_u = 100$        $f_{BW} = 100 \text{ MHz}$        $V_{out} = \frac{10 \mu\text{V}}{\sqrt{\text{Hz}}}$



$V_{rms, out} = V_{out} \cdot \sqrt{f_{BW}} = 100 \mu\text{V}$

$V_{rms, in} = \frac{V_{rms, out}}{100} = 1 \mu\text{V}$

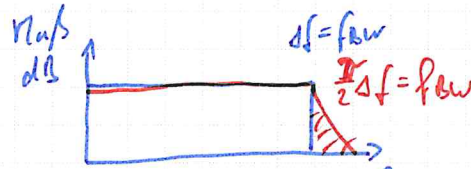
Widerstandsspannungsrauschen  $U_{nr, rms} = \sqrt{4kTR\Delta f}$

$f_{BW} = \Delta f = 100 \text{ MHz}$        $R = 1 \text{ M}\Omega$        $U_{nr, rms} = 1.2 \text{ mV}$

$k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$        $T = 300 \text{ K}$

$U_{nr, pp} = U_{nr, rms} \cdot 6 = 7.2 \text{ mV}$

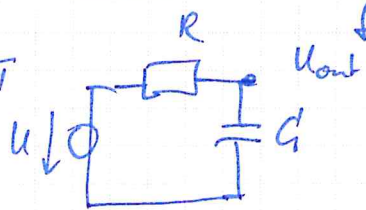
Bandbreite  $\Delta f, f_{BW}$



$f_{BW} = \frac{\pi}{2} \Delta f$

$U_{out, noise}(f) = \sqrt{kT4R} \cdot \frac{1}{1+j\omega RC}$

$U_{out, noise, rms} = \sqrt{\frac{kT}{C}}$



$C = 1 \text{ pF}$

$U_{out, noise, rms} = 64 \mu\text{V}$

$f_s = \frac{1}{2\pi RC}$

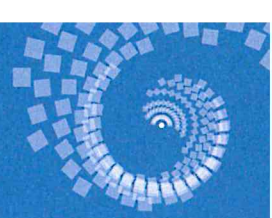
Diode:  $\frac{1}{f}$  rausden, Bandbreite durch Diodekapazität begrenzt

MOSFET, Bipolartransistor ähnlich  $\rightarrow$  LTSPICE, Datenblatt

Operationsverstärker: Datenblatt

- Eingangsspannungsquelle
- Eingangsrauschstromquelle

Beispiel: nichtinvertierender Operationsverstärker:



### Strommessprinzipien

- Hall sensor, Strom sensor
- Meßbrücke : - Temperaturkompensation  
- höhere Empfindlichkeit

EL63  
6.11.23

