

Kursbrev 5

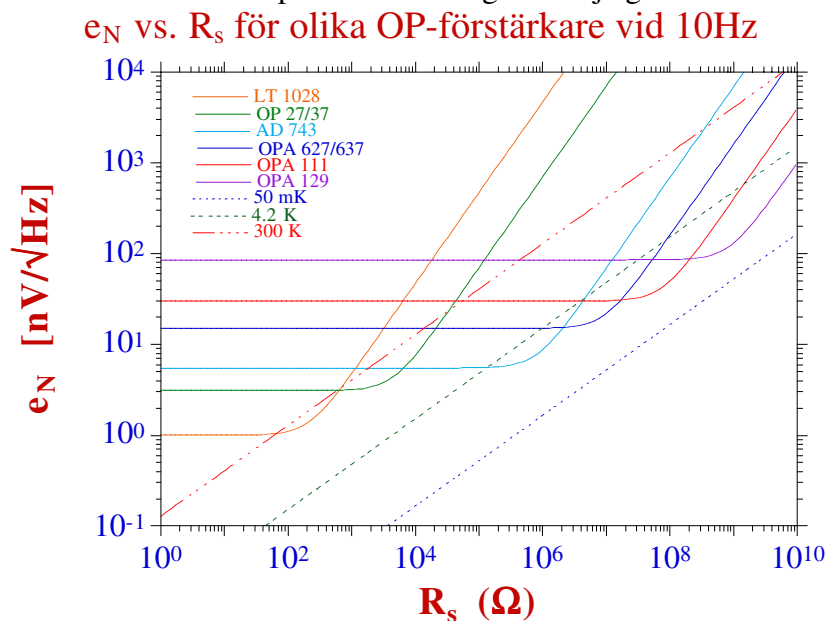
Att läsa i kursboken: Kapitel 9 och 10

BRUSBERÄKNINGAR och BRUSFYSIK

Kapitel 9 och 10 är relativt korta, men ger en god introduktion till brusberäkningar och bruskällor i såväl sensorer som i förstärkare.

e_n och i_n beskriver spänningsbruset respektive strömbruset på ingången av en förstärkare. Det är mycket viktigt att förstå hur man karakteriserar bruset i en förstärkare, med hjälp av e_n och i_n . Det är också viktigt att förstå sambandet mellan NF (noise figure) och e_n , i_n . Här gör boken ett bra jobb med att förklara samband och de fällor man kan trilla i. Läs meningen längst ner på sidan 365 (minst) två gånger. Begreppet optimal källresistans $R_{opt}=e_n/i_n$ är nyttigt att kunna, det ger ofta en god vägledning när man ska välja förstärkare.

Här nedan ser ni två figurer (för 10Hz resp. 1kHz) som sammanfattar dom bästa OP-förstärkarna som finns idag och hur det totala ingångsbruset e_N ändrar sig som funktion av källimpedansen. För varje källresistans finns det en förstärkare som är bättre än dom andra.. Notera att kurvorna är givna för $T=0K$, men att det termiska bidraget från källresistansen, e_R ges av en diagonal linje i figuren. Tre linjer som motsvarar tre olika temperaturer är inlagda i varje graf.



Ett begrepp som man ofta stöter på men som boken inte tar upp är begreppet brustemperatur.

Definitionen säger att brustemperaturen, T^* , för en förstärkare motsvarar den temperatur som källimpedansen behöver ha för att ge ett lika stort brusbidrag som förstärkaren, d.v.s.

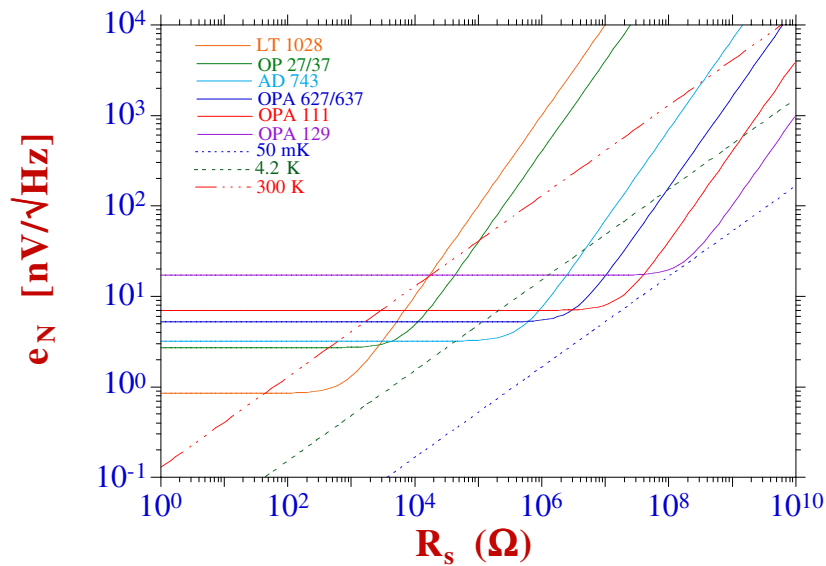
$$e_R^2(T^*) = e_n^2 + i_n^2 R_n^2$$

alltså får vi

$$T^* = \frac{e_n^2 + i_n^2 R_n^2}{4kR_n}$$

Minimum brustemperatur får man om man väljer $R_n=R_{opt}$. Notera att brustemperaturen kan vara avsevärt lägre än operationstemperaturen för OP-förstärkaren.

e_N vs. R_s för olika OP-förstärkare vid 1kHz



Notera också tekniken att skifta från spänningsbrus till strömbrus eller tvärt om genom att använda transformatorer. Man kan uppnå en liknande effekt genom att parallellkoppla flera förstärkare.

I kapitel 10 behandlas olika brusällor och hur dom uppstår rent fysikaliskt. Dom viktigaste brus typerna är

1. Termiskt brus (kallas också Johnsonbrus eller Nyquistbrus)

Detta brus beror direkt på temperaturen och dess densitet är oberoende av frekvens, man säger att det är vitt. (Både Johnson och Nyquist var svenskar)

2. Hagelbrus (på engelska Shot noise)

Detta brus beror på att laddningsbärarna (elektronerna) har en välbestämd (kvantiserad) laddning och uppträder när laddningen passerar en energibarriär, t.ex. en p-n övergång eller en tunnelbarriär. Hagelbrus är också vitt.

3. Lågfrekvensbrus (kallas även 1/f brus)

Detta brus uppstår på olika sätt när laddningsbärare transporteras i en komponent vars egenskaper ändrar sig i tiden. Detta kan t.ex. bero på fasta laddningar som hoppar mellan två stabila lägen och därmed ändrar ledningsförmågan i komponenten. Detta brus ökar med minskande frekvens med ett beroende som är relativt nära $1/f$.

Boken ger en bra beskrivning av dom dominerande brusällorna i olika komponenter. Notera att normalt är spänningsbruset något lägre för bipolära transistorer, medan strömbruset är betydligt lägre för FET transistorer.

Errata:

I ekvation 10.19 har van Putten missat en tvåa, i sista ledet bör det stå $\dots = \beta^2 i_n^2$

och i ekvation 10.24 ska den andra termen vara $\dots + \frac{4kT}{2\beta r_o} r_{bb} + \dots$

Övningsuppgifter (Skickas in)

1. Du använder en operationsförstärkare OPA111 som har $e_n=6\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ och $i_n=0.4\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$. Hur stort blir det totala ingångsbruset uttryckt i $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ om din sensorimpedans (källimpedans) och sensor temperatur är
 - a) $100\ \Omega$ och $300\ \text{K}$
 - b) $100\ \text{k}\Omega$ och $300\ \text{K}$
 - c) $100\ \text{M}\Omega$ och $300\ \text{K}$
 - d) $100\ \Omega$ och $4\ \text{K}$
 - e) $100\ \text{M}\Omega$ och $4\ \text{K}$
2. Hur stor är NF i de ovanstående fallen
3. Vilken av operationsförstärkarna i figuren ovan (för $10\ \text{Hz}$) har lägst brustemperatur vid sin optimala källresistans (R_{opt}), hur stora är R_{opt} och T_N för den förstärkaren.
4. Hur stort är strömbruset (uttryckt i $\text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$) hos en FET transistor som har 30pA i ingångsström (gate ström) om vi antar att hagelbrus dominerar.

Extrauppgifter (Skickas ej in)

1. Samma uppgift som Övningsuppgift 1 ovan men använd LT1028 istället med $e_n=1\ \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ och $i_n=12\ \text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
2. Studera Fig. 9.6. Den bipolära transistorn har optimala brusegenskaper vid ca $10\ \text{kHz}$ och $3\text{k}\Omega$, vad är det som gör att prestanda försämras om man ökar eller minskar frekvens respektive resistans
3. Hur stort är det termiska bruset från en 50Ω resistor vid 300K uttryckt i $\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$