



dB, Decibel

Når man arbejder med forstærkere, skelnes mellem Effektforstærkning, - og Spændingsforstærkning.

Hvis et forstærkersystem består af 3 trin forstærkere, der forstærker hhv. 57, 78 og 29 gange, fås en samlet forstærkning på $57 \times 78 \times 29 = 128.934$ gange.

Denne måde at angive en forstærkning er ret bøvlet, og derfor bruger man i stedet at udtrykke en forstærkning som logaritmen til forstærkningen. Forstærkningen udtrykkes så i Bel, der er logaritmen til forstærkningen målt i antal gange.

En forstærker, der forstærker 100 gange, har en forstærkning på 2 Bel. Men i praksis bruger man tiendedele Bel, altså 20 decibel.

Eksempel:

En lavfrekvensforstærker, tilkoblet en mikrofon, der afgiver $1 \mu\text{W}$, forstærker signalet op til 100 Watt. Forstærkningen bliver da:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{10^2}{10^{-6}} = 10^8 \text{ gange.}$$

Udtrykt i Bel bliver det 8 Bel, idet $\log(10^8)$ er 8.

I praksis anvendes deci-Bel, dB, dvs. forstærkningen er 80 dB.

dB er altså = $10 \times$ logaritmen til forstærkningstallet.

Effektforstærkning:

Udtrykket for effektforstærkningen i et system er givet ved:

$$A_p = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Regnes effektforstærkningen i Bell, fås:

$$A_B = \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$$

I dB, deciBell fås:

$$A_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$$

Spændingsforstærkning:



Typisk arbejdes der i forstærkeranlæg med spændingsforstærkning i stedet for effektforstærkning.

Den afsatte effekt i en modstand kan udtrykkes som $P = \frac{U^2}{R}$

Ind- og udgangseffekten kan da beregnes som $P1 = \frac{U1^2}{R1}$ og $P2 = \frac{U2^2}{R2}$

R1 og R2 er de modstande, hvorover U1 og U2 er målt.

Effektforstærkningen i dB findes nu som: $A = 10 \times \log\left(\frac{P2}{P1}\right) = 10 \times \log\left(\frac{U2^2 \times R1}{U1^2 \times R2}\right)$

Det tilstræbes altid, at ind- og udgangsmodstanden er lige store, hvorfor R1 og R2 kan forkortes i ligningen og falder bort.

Spændingsforstærkningen i dB bliver så: $= 10 \times \log\left(\frac{U2^2}{U1^2}\right) = 10 \times \log\left(\frac{U2}{U1}\right)^2$

Idet logaritmen til et tal i anden potens er 2 x logaritmen til tallet. Så derfor fås:

$$A = 2 \times 10 \times \log\left(\frac{U2}{U1}\right) \quad \text{eller} \quad A = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{in}}\right)$$

Nogle gange ser man også en spænding direkte udtrykt i dB. Men dB udtrykker jo et antal gange.

Så det kan kun gøres, hvis man har fastsat værdien for 0 dB som en reference.

Spændingsværdien udtrykt i dB bliver derfor 20 x logaritmen til det antal gange, som spændingen er større end referencespændingen.

Referencespændingen kan være fastsat til 1 mikrovolt.

Dvs. at udtrykket dB μ V er spændingen i dB over 1 μ V.

Bodeplot

(Redigeret Juli/August 2012.)

Når man ser på, - eller analyserer et analogt kredsløb, der skal behandle forskellige frekvenser, er man tit interesseret i at vide, hvordan kredsløbet reagerer overfor forskellige frekvenser.

Hvordan reagerer kredsløbet på lave frekvenser, og hvordan på høje frekvenser. Kan det håndtere DC, eller fx frekvenser over 1 MHz?



Man kan selvfølgelig påtrykke kredsløbet et signal, og så måle på udgangen gentagne gange, ved stigende frekvenser. Og så plotte resultatet i en graf.

Men med ORCAD er det rimelig let at danne sig et billede over frekvensresponsen af et kredsløb.

Kredsløbet tegnes i ORCAD, der påtrykkes et sinus-signal, og efter en simulering fås en graf over kredsløbets opførsel i et frekvensinterval.

Udgangssignalet kan afbildes enten som gain, dvs. U_{out} / U_{in} , eller som et Bodeplot, udviklet af Hendrick Bode, 1905 – 82, Madison, Wisconsin, USA. Udtales [*Boh' -duh*]

Normalt består et Bodeplot af to grafer, den ene med kredsløbets forstærkning afbildet i dB, deciBell, og den anden med kredsløbets fasedrejning. Begge med frekvensen ud ad x-aksen.

Der bruges en logaritmisk skala på X-aksen, fordi det giver meget større mulighed for at tolke grafen – og for at manipulere med kredsløbet.

Frekvensafhængighed:

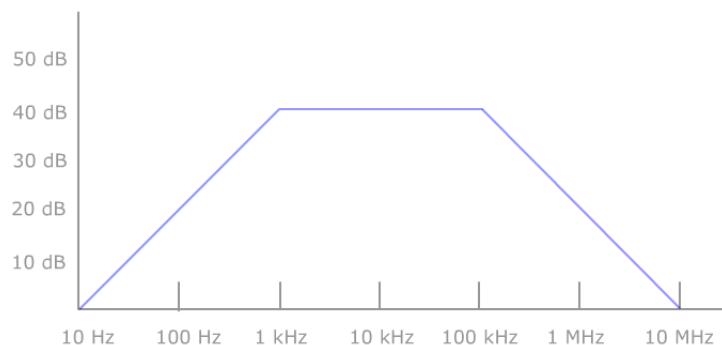
Det er jo sådan, at der typisk indgår kondensatorer i et kredsløb, for evt. at offset-forskyde, DC-blokke, osv.

Men vi ved, at kondensatorers ”modstand” er frekvensafhængige.

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot c}$$

Dvs. at det kan give variabel forstærkning, afh. af frekvensen, osv.

Dvs. at forstærkningen A' er frekvens-afhængig, som vist til højre her.



Her et eksempel på en afbildning af en frekvensafhængig forstærkning.

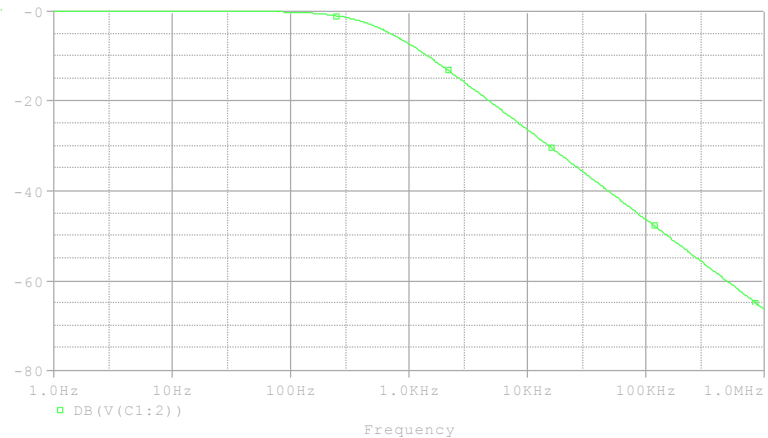
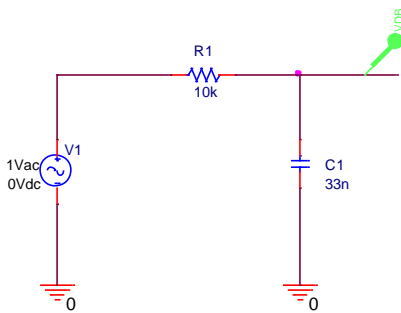
Typisk er dette ønsket, i en såkaldt selektiv forstærker, dvs. en forstærker, der forstærker et udvalgt frekvensområde.

Op ad Y-aksen angives gain i dB. dB udregnes som

$$gain \text{ i dB} = 20 \cdot \log_{10} \left| \frac{U_{out}}{U_{in}} \right|$$

Hvis kredsløbet ikke forstærker, eller dæmper, er $U_{out}/U_{in} = 1$, hvilket giver 0 dB. Hvis kredsløbet dæmper, fx et RC-led, - er forstærkningen under 1 gang, dvs. at man får et negativt gain i dB. Og afbildes følgelig under frekvens-aksen.

Her et eksempel på et RC-led, med tilhørende Bode Plot:

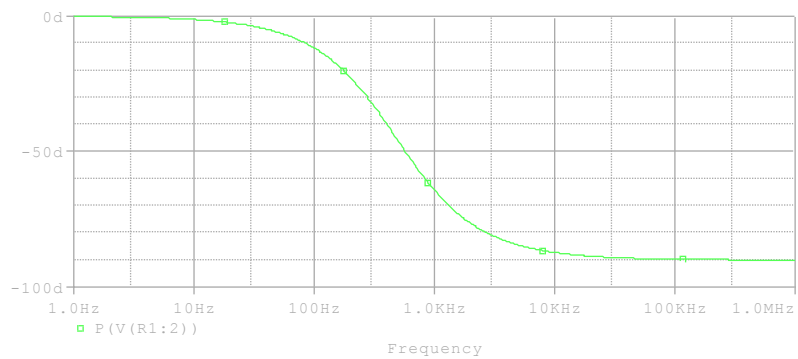


Ved lave frekvenser er forstærkningen 1 gang, dvs. 0 dB. Når frekvensen er nået op på en størrelse, hvor X_{C1} er faldet til samme værdi som modstandens størrelse, er man midt i knækket. U_{out} er her faldet til 0,707 gange U_{in} .

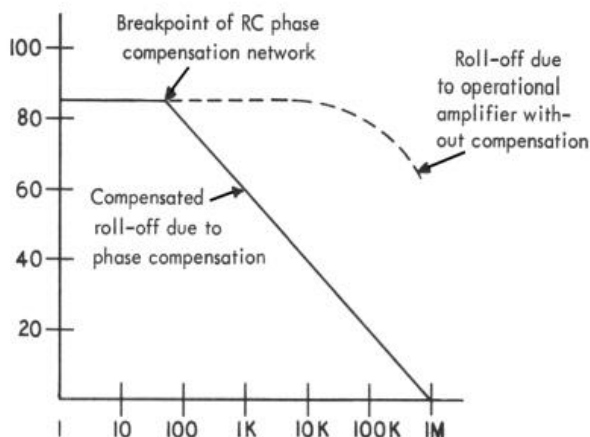
Ved stigende frekvens dæmpes udgangssignalet mere og mere.

Til et Bodeplot hører normalt også en graf for kredsløbets fasedrejning, men den undlades ofte.

Her er afbildet graf for ovenstående kredsløbs fasedrejning. Ved lave frekvenser er kondensatorens modstand meget stor, og belaster derfor ikke signalet. Derfor er udgangsspændingen lig indgangsspændingen, og fasedrejningen er 0 grader.



OPAMP's



En operationsforstærker er født med en ”stor” egenforstærkning. Man har tilstræbt, at den virker ved selv høje frekvenser, men pga. kapaciteter på selve chippen, pga. baner tæt på hinanden, vil dens forstærkning ved høje frekvenser ikke være klart defineret.

Derfor har man valgt at indbygge en kondensator på chip'en, så opamp'ens forstærker-graf er bedre ”defineret”.

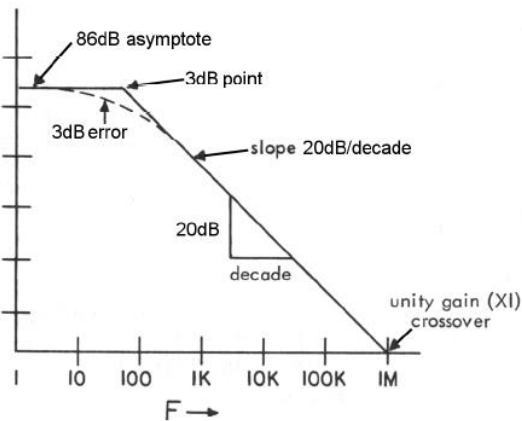
Her vist fuld optrukket.



Men samtidig lægger man jo begrænsninger på hvor høje frekvenser, operationsforstærkeren kan håndtere ved forskellige forstærkninger. Men hvis man ikke gør det, kan det forekomme, at et opamp-kredsløb begynder at oscillere.

Det kan ske, hvis hældningen på grafen, der hvor den krydser 0 dB er over 40 dB/dekade.

Grafen kaldes også for opamp'ens Open Loop gain.



Tit tegnes et Bodeplot med rette linjer. Men den stiplede linje her viser en opamp's rigtige forstærkning.

De fuldt optrukne linjer, der er asymptoter til grafen, kaldes for "Bode Approximation".

Lige i knækket er fejlen, hvis man tegner med rette linjer -3dB, som svarer til, at forstærkningen er faldet til 0,707 gange den oprindelige forstærkning.

Obs.: Grafen burde fortsætte under x-aksen!

<http://focus.ti.com.cn/cn/lit/an/sboa092a/sboa092a.pdf>

Approksimationsfejl.

Den fejl, man gør ved at tegne Bodeplot med rette linjer er angivet i følgende skema:

Frekvens i forhold til Knækkfrekvensen, f_c	Størrelse af fejl dB	Fasefejl grader
0,1 x f_c	0,04	+ 5,7
0,5	1	-4,9
1	3	0
2	1	+4,9
10 x f_c	0,04	-5,7

En ting er, hvilken forstærkning, en Opamp er født med. Noget andet er, hvad man ønsker af forstærkning i sit kredsløb.

Ønsket forstærkning vælges med simple modstande. Man modkobler, eller lukker sløjfen, kaldet "Closed Loop".

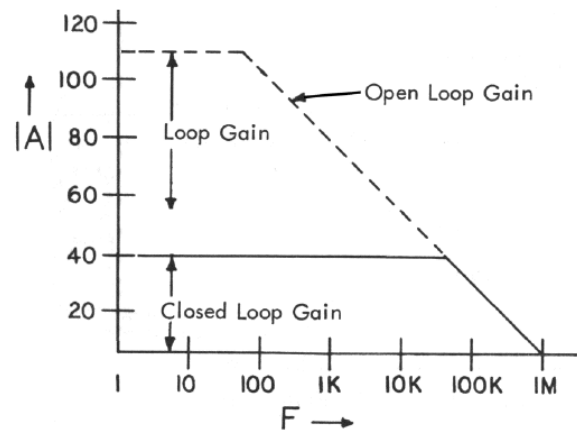


I dette eksempel er der vist et bodeplot for et kredsløb, der forstærker 100 gange, svarende til 40 dB.

Hvor selve operationsforstærkeren kun kan forstærke 110 dB op til en frekvens på 100 Hz, ses nu, at der kan opnås en forstærkning på 40 dB helt op til næsten 100 kHz.

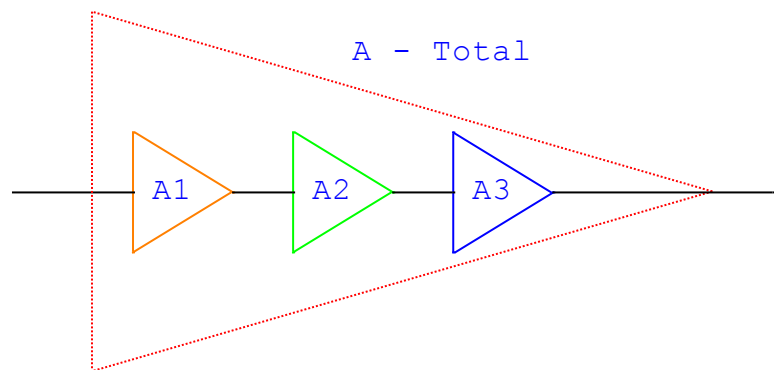
Man siger, at kredsløbets båndbredde er 100 kHz.

Øges kredsløbets forstærkning til 60 dB vha. ændrede modstande, bliver båndbredden knap 10 kHz.



Derfor vil man ofte opbygge et kredsløb, der skal forstærke en del gange, af flere delforstærkninger, så kredsløbets båndbredde bliver større.

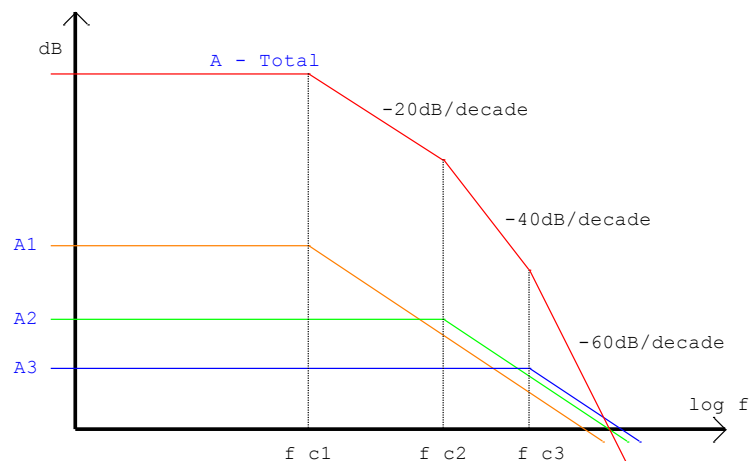
Her ses en skitse af 3 kaskadekoblede forstærker-trin.



Og her bodeplot for de tre forstærkere hver især, - og samlet.

Den samlede forstærkning er på Y-aksen summen af de tre separate gain.

Det kendes jo også fra logaritmer. Man ganger to tal ved at addere deres logaritmer.



Simulering:

Under simuleringen med ORCAD påtrykker man kredsløbet et AC-signal, med komponenten VAC, og man angiver i hvilket frekvensinterval, der skal laves beregninger.



Med en VAC, kan ORCAD indstilles til at lave et frekvenssweep, dvs. den laver gentagne beregninger med stigende frekvenser. Dvs. man sweeper en generator, og får en graf af resultat for forskellige frekvenser.

ORCAD skal opsættes til at udføre et sweep, fra en startfrekvens til en slutfrekvens.

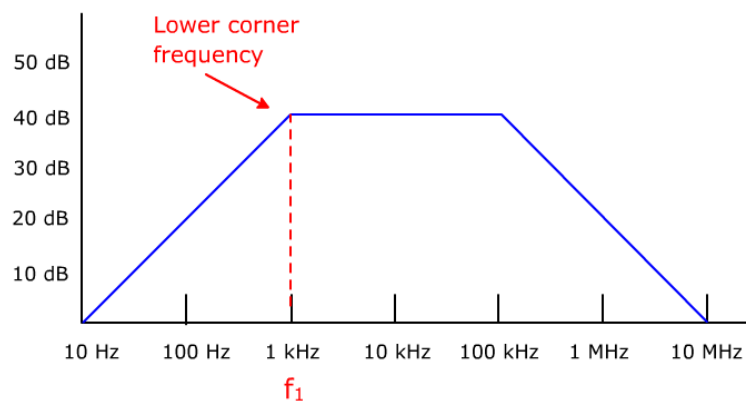
Det, man kan undersøge, er fx spændinger, strømme, modstande, forstærkninger, fasedrejning mm.

En VAC generator i ORCAD er default sat til at påtrykke et signal på 1 Volt. Dette kan sagtens få et virkeligt kredsløb til at klippe, - men man skal huske, at en bodeplot afbildning blot er en matematisk beregning af U_{out} divideret med U_{in} . En VdB-markering, forudsætter, at der er 1 Volt signal på.

Ønsker man ikke at påtrykke et 1 Volt signal, kan man ikke bruge en færdig markering, men man skal selv skrive sin ligning for grafen.

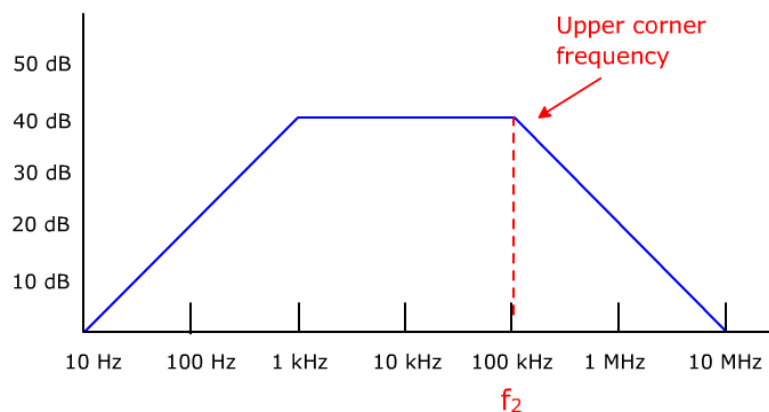
Her er vist et par eksempler på et forstærkerkredsløbs Bodeplot.

Kredsløbets Bodeplot har knæk, der henholdsvis kaldes nedre og øvre knækfrekvens



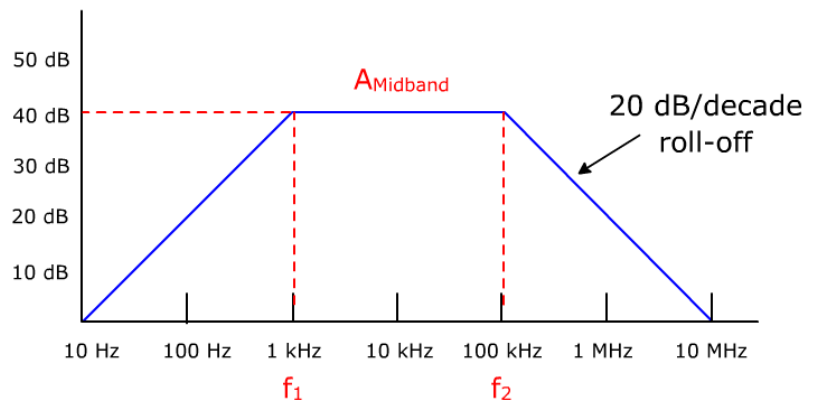
Her er angivet øvre knækfrekvens.

Husk, at lige i knækket, når der tegnes rette linjer, er der en lille fejl på -3 dB ned til kredsløbets rigtige forstærkning.





Her er angivet kredsløbets båndbredde, og at hældningen efter knækket er -20 dB pr dekade. Eller -6 dB pr oktav.

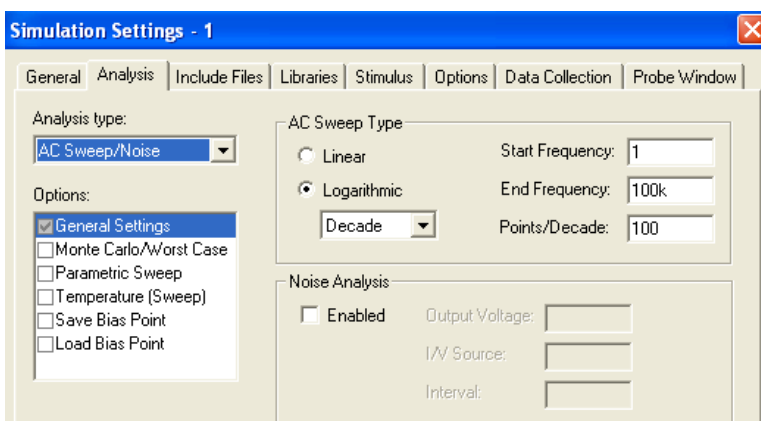
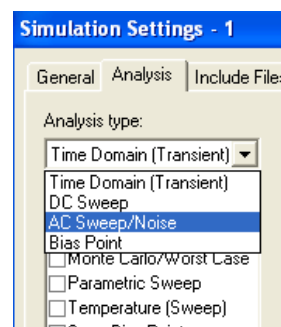


Se <http://www.wisc-online.com/ViewObject.aspx?ID=SSE2703>

Se fx: <http://circuitscan.homestead.com/files/ancircp/bode1.htm>

Opsætning ORCAD til AC-sweep

Når kredsløbet er tegnet, og der er påtrykt en VAC, kan analysetypen vælges til AC Sweep/Noise



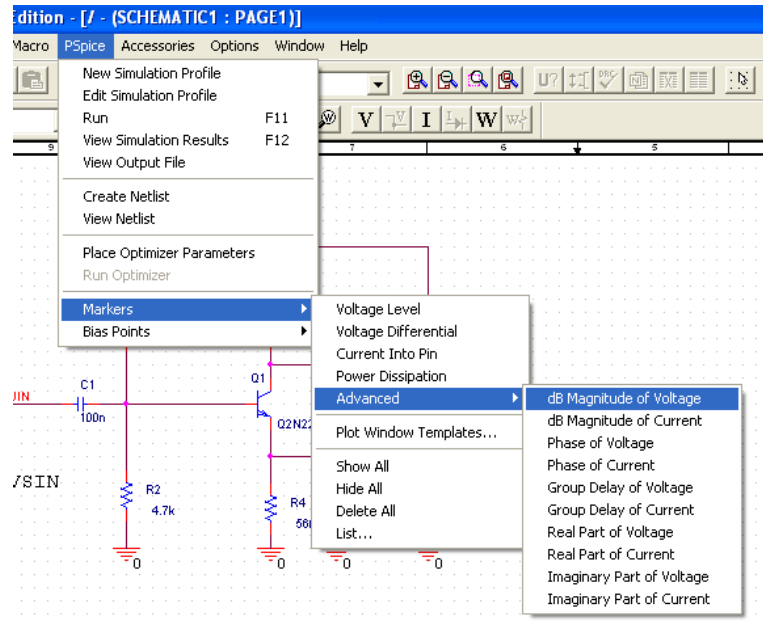
Dernæst skal angives hvilken frekvensområde, der skal analyseres, og antal af beregninger pr dekade.

Obs.:

1 MHz skal angives som *Imeg*.

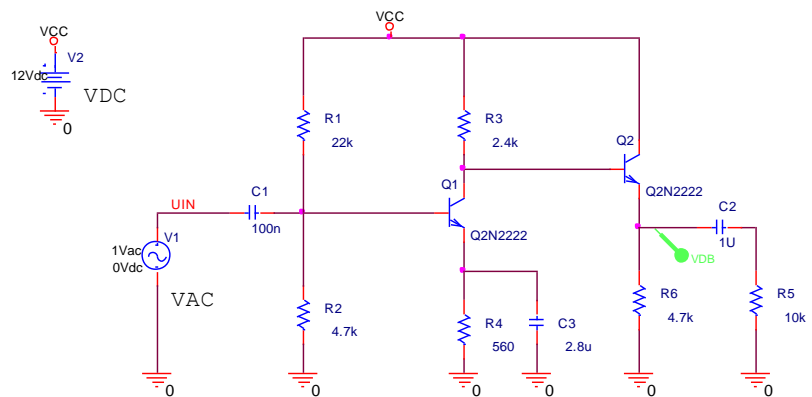


Når der er opsat et AC-sweep, - og der er valgt 1 Volt (default) som spænding fra AC-generatoren, kan der vælges specielle dB-markere, så der automatisk tegnes graf af beregningerne.

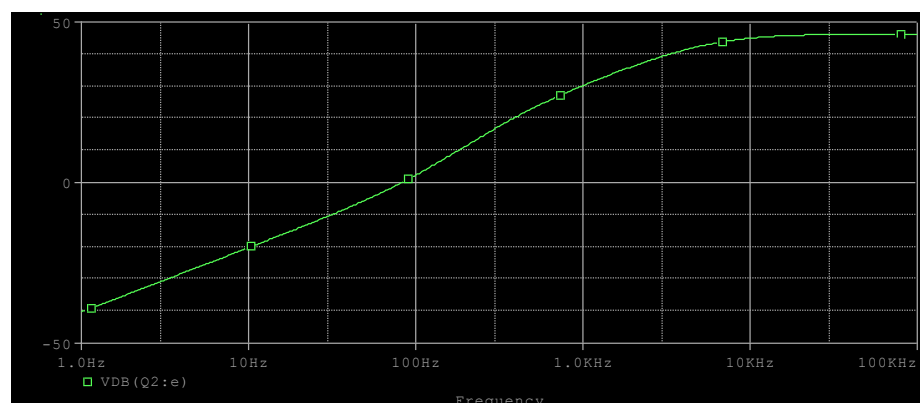


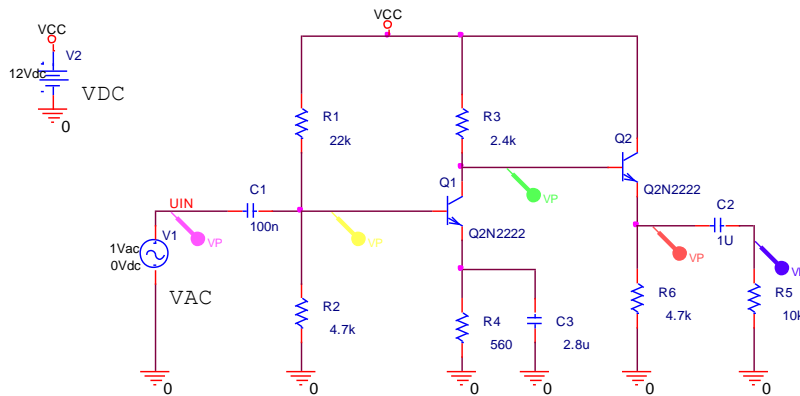
Eksempel:

Kredsløbet er påtrykt en VAC, der giver 1 Volt.



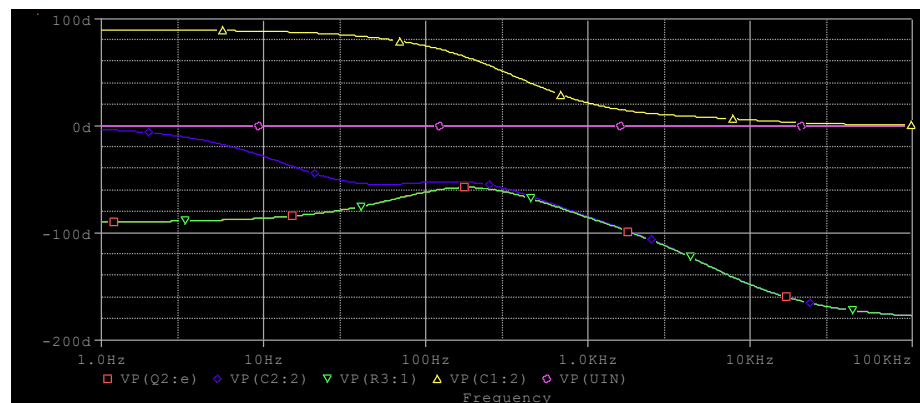
Kredsløbets Bodeplot op til 100 kHz.





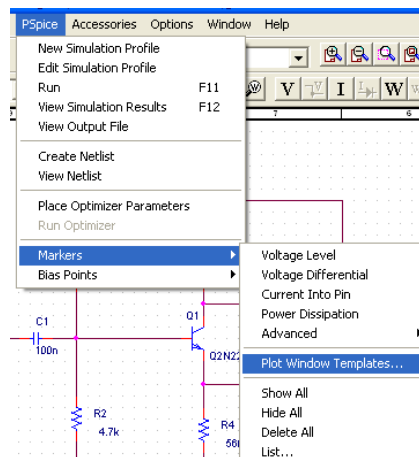
Her er der sat mange fase-markere på knudepunkter i kredsløbet..

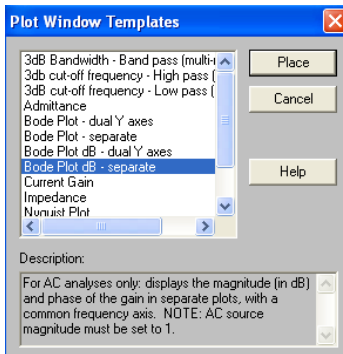
Og det giver lige så mange grafer for fasedrejningen de forskellige steder.



Pspice / Marker / - Template

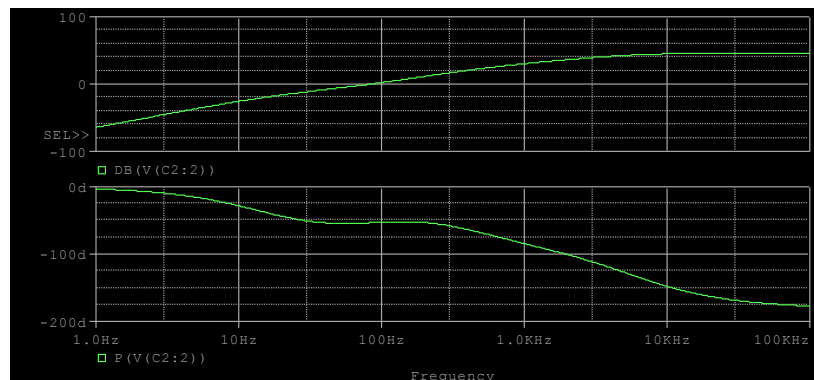
I ORCAD findes en mulighed for i et hug at få graf for både Gain og fasedrejning.





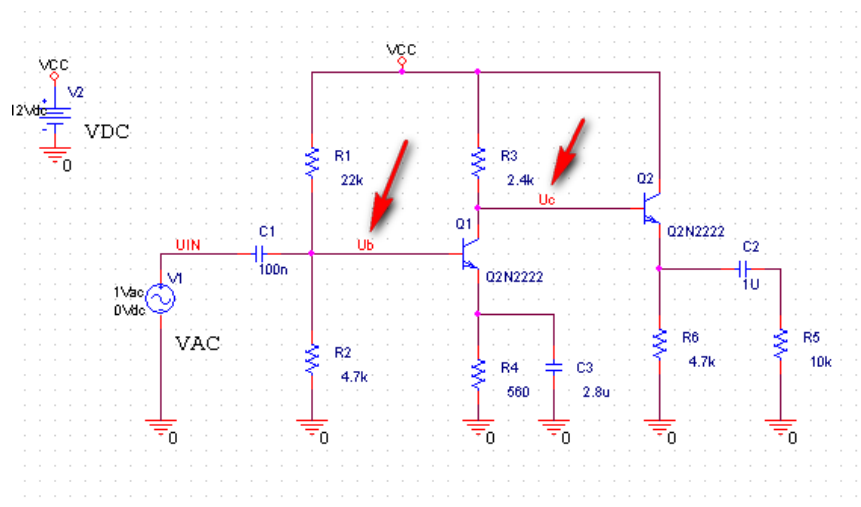
Vælg Bode Plot dB – separate.

Dette giver automatisk graf for både Gain i dB, og fasedrejning.



Hvis der ønskes at tegne et graf for en del af kredsløbet, må man selv indskrive en formel for grafen. I følgende eksempel ønskes tegnet Bodeplot for transistorforstærkeren, der udgøres af Q1.

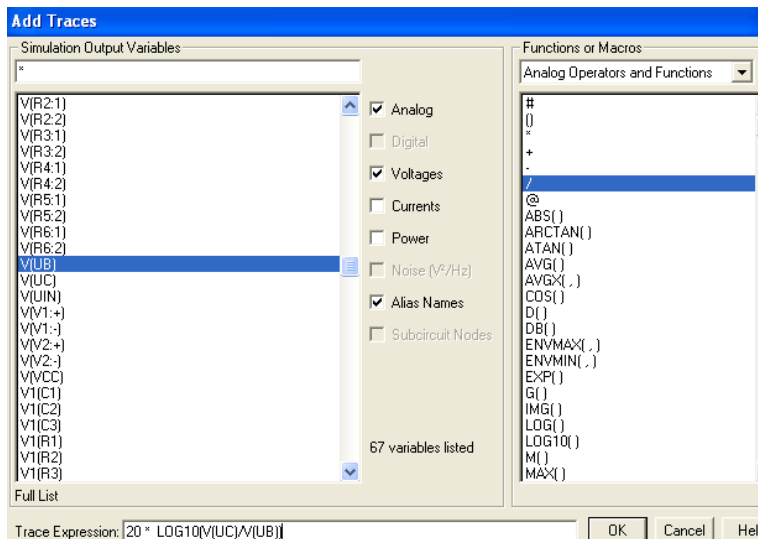
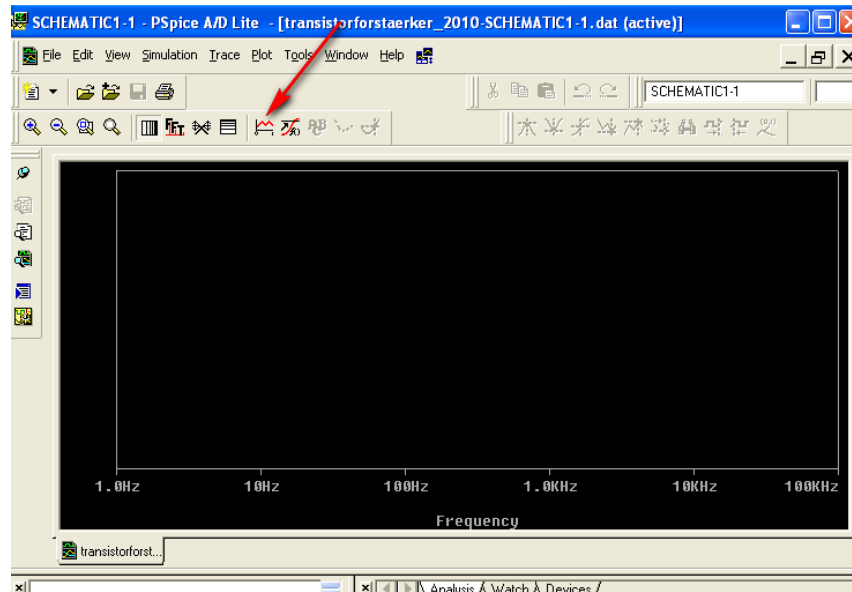
Der sættes label på, så signalerne kan genkendes.





Efter en simulering, fås et blankt grafvindue:

Vælg knappen Trace, Add Trace – for at indtaste en graf-ligning.



I nederste rude, indskrives et udtryk for den ønskede graf. Her er udtrykket for Bodeplottet for Q1.

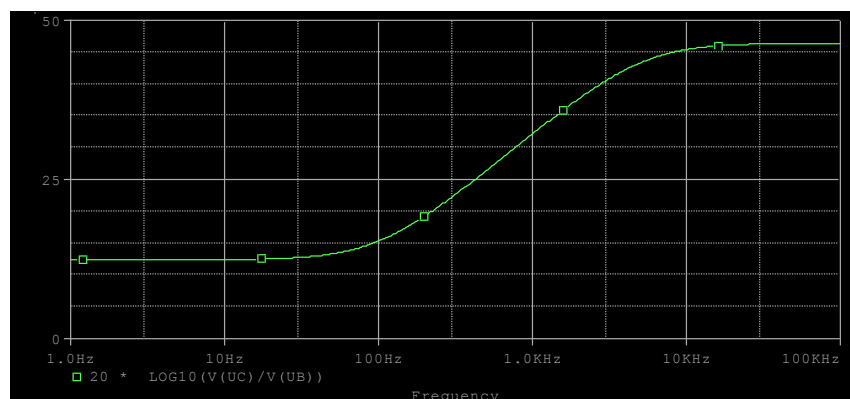
$$20 \cdot \text{Log}_{10} \left(\frac{U_c}{U_b} \right)$$

De matematiske udtryk kan enten indskrives direkte, eller vælges i højre rude.

Grafen ser nu således ud:

Det ses, at for meget lave frekvenser virker C3 ikke som afkoblings-kondensator.

Dvs. uden C3 ville forstærkningen være ca. 12 dB.



C3 er valgt, så X_{c3} er ~ 560 ved ca. 100 Hz.

Ved ca. 8 KHz er $X_{c3} \sim R_e$ for Q1.



Yderligere kilder:

Se: http://www.elexp.com/t_gain.htm

http://www.elexp.com/t_comp2.htm

Om fasedrejning, interaktiv: http://www.learnabout-electronics.org/ac_theory/ac_ccts_53.php


Bonus:


GRAPHING IN PSPICE

General Instructions

On the simulation window,

- 1) Go to Trace => Add Trace
- 2) Select the variable you want to plot on the y-axis. Or type in an expression on the Trace Expression prompt at the bottom of the window. Press OK
- 3) To mark points:


a. Click the "Toggle Cursor" button  (Or go through the menu, Trace => Cursor => Display.) You will now be able to move the cursor along your plot.


b. Click the "Mark Label" button  to label that point. (Or go through the menu, Plot => Label => Mark.)


Bode Plots

1) For the magnitude plot, use the PSpice DB() function to convert the transfer function to decibels. For example, you could type in **DB(V(Vout)/V(Vin))** as your Trace Expression, assuming you have labeled your output and input nodes with "Vout" and "Vin" aliases. Note that DB(Vout) is NOT the transfer function in dB.


2) Next, mark the cutoff frequency on the magnitude plot. To find the cutoff frequency, remember the cutoff frequency is 3dB below the highest point (NOT always at -3dB). Here are some instructions on how to label the cutoff frequencies.

a. Click the "Toggle Cursor" button  (Or go through the menu, Trace => Cursor => Display.)

b. Click the "Cursor Max" button  to find the highest point. (Or go through the menu, Trace => Cursor => Max.)

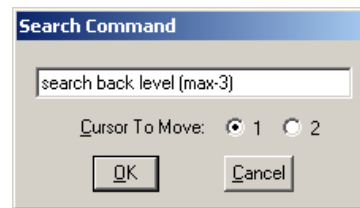
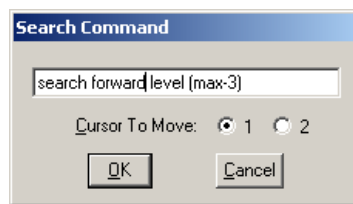
c. Click the "Mark Label" button  to label the max point. (Or go through the menu, Plot => Label => Mark.) This point is the center frequency f_0 for a bandpass filter.



d. Click the "Cursor Search" button  (Or go through the menu, Trace => Cursor => Search Commands...)

e. Select 1 for Cursor To Move to search along the y-axis

f. To find the cutoff frequency f_c (or cutoff frequencies f_{cl} and f_{cu} for a bandpass filter), enter "search forward level (max-3)" (don't enter the quotation marks) to move the cursor to the right to the point which is 3dB below the max. Or enter "search back level (max-3)" (don't enter the quotation marks) to move the cursor to the left



f. Click the "Mark Label" button  to label that cutoff point.

- Unclick the Toggle Cursor button to disable the cursor so you can move the label.
- Double click on the label to edit the text (to add units, or to name the point)

3) Once you have completed the magnitude plot, you will now need to create a phase plot. To put the plot on the same window for convenience, go to Plot => Add Plot to Window. To graph the phase plot, use the PSpice P() function. For example, $P(V(V_{out})/V(V_{in}))$.

4) To label the cutoff frequencies on the phase plot, simply search for the angles that correspond to each cutoff frequency. You can find these in the class lecture notes. For example, for a passive lowpass filter, the cutoff frequency is located where the phase shift is -45 degrees. So on the plot, you would search for -45 and then label that point.

5) It may help to increase the width of the lines in the plot:

- a. The colored symbol at the bottom of the graph, or on the graph line.
- b. Note you can select all of the lines by going to Edit => Select All.
- c. Right click on the line. Make sure the selection list has Information, Properties, Cursor 1, and Cursor 2. (If it lists Settings and Properties, you clicked on the background, not on the line).
- d. Select Properties.
- e. You can change the width and other settings of that trace.

6) An example of a complete Bode plot with labels is shown below: