

Föreläsning 11

Effektförstärkare

Kapitel 6.6 i Pozar

Senaste föreläsningen

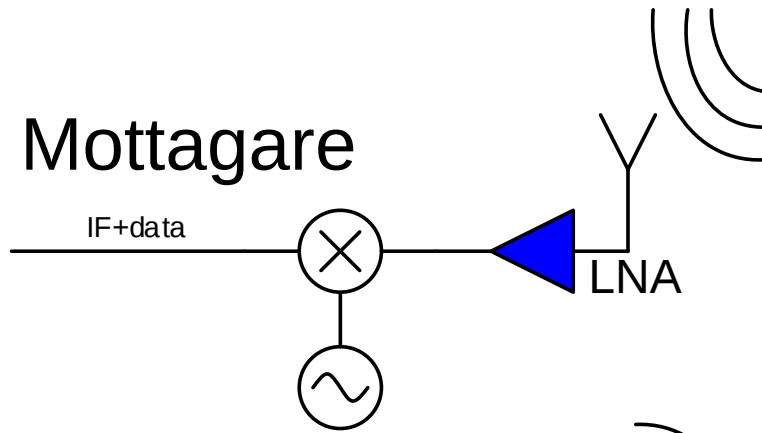
- Ickelinjära effekter
 - Förstärkningskompression ($P1_{dB}$, $P1$)
 - Intermodulation (IMD)
 - Tredje ordnings skärningspunkt ($OIP3$, $P3$)

Dagens föreläsning

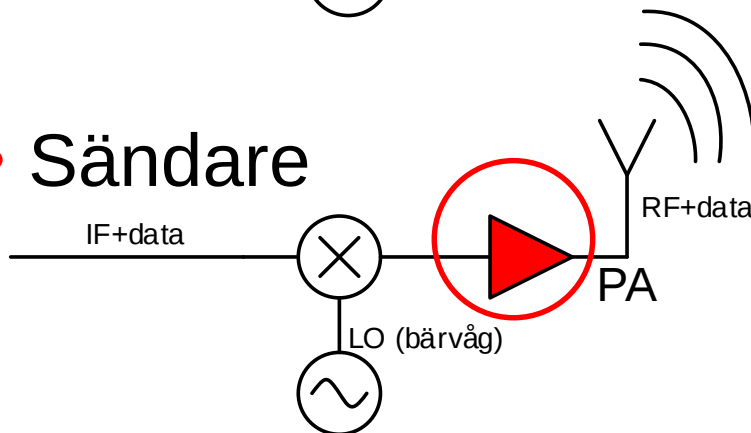
- Effektförstärkare
 - Arbetspunkt
 - Storsignalsimuleringar
 - Övertoner
 - Olika förstärkarklasser

Ett kommunikationssystem

- Mottagare



- Sändare



- LNA påverkar mottagarprestanda
- PA påverkar utsänd effekt
- Både sändare och mottagare påverkar total SNR

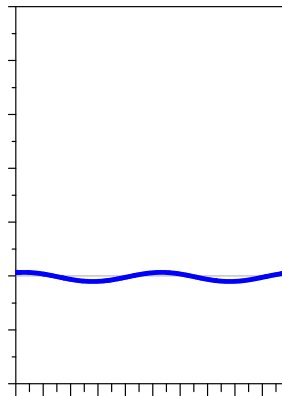
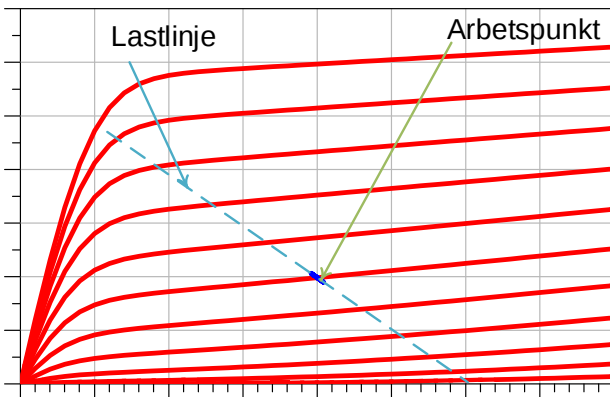
Effektförstärkaren

- Sista steget innan antennen i sändaren
- Prestandakrav
 - Uteffekt
 - Verkningsgrad
 - Linjäritet

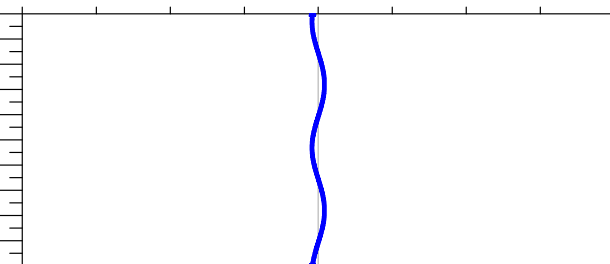
Småsignalförstärkning

- DC-karakteristik är grunden
- S-parametrar är en linjärisering i en arbetspunkt

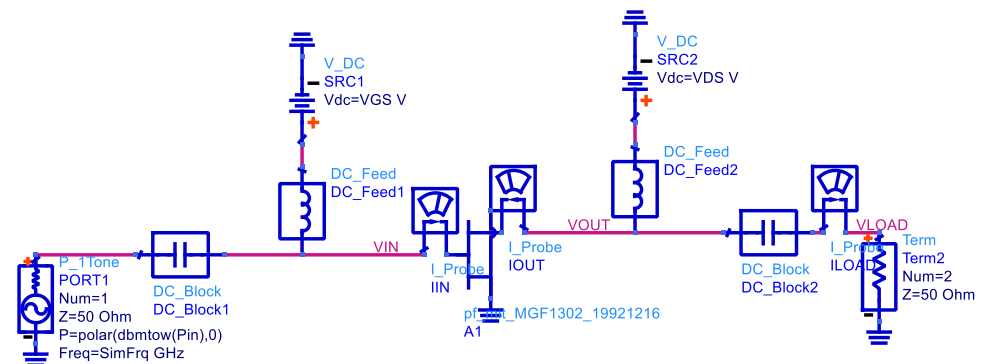
DC karakteristik



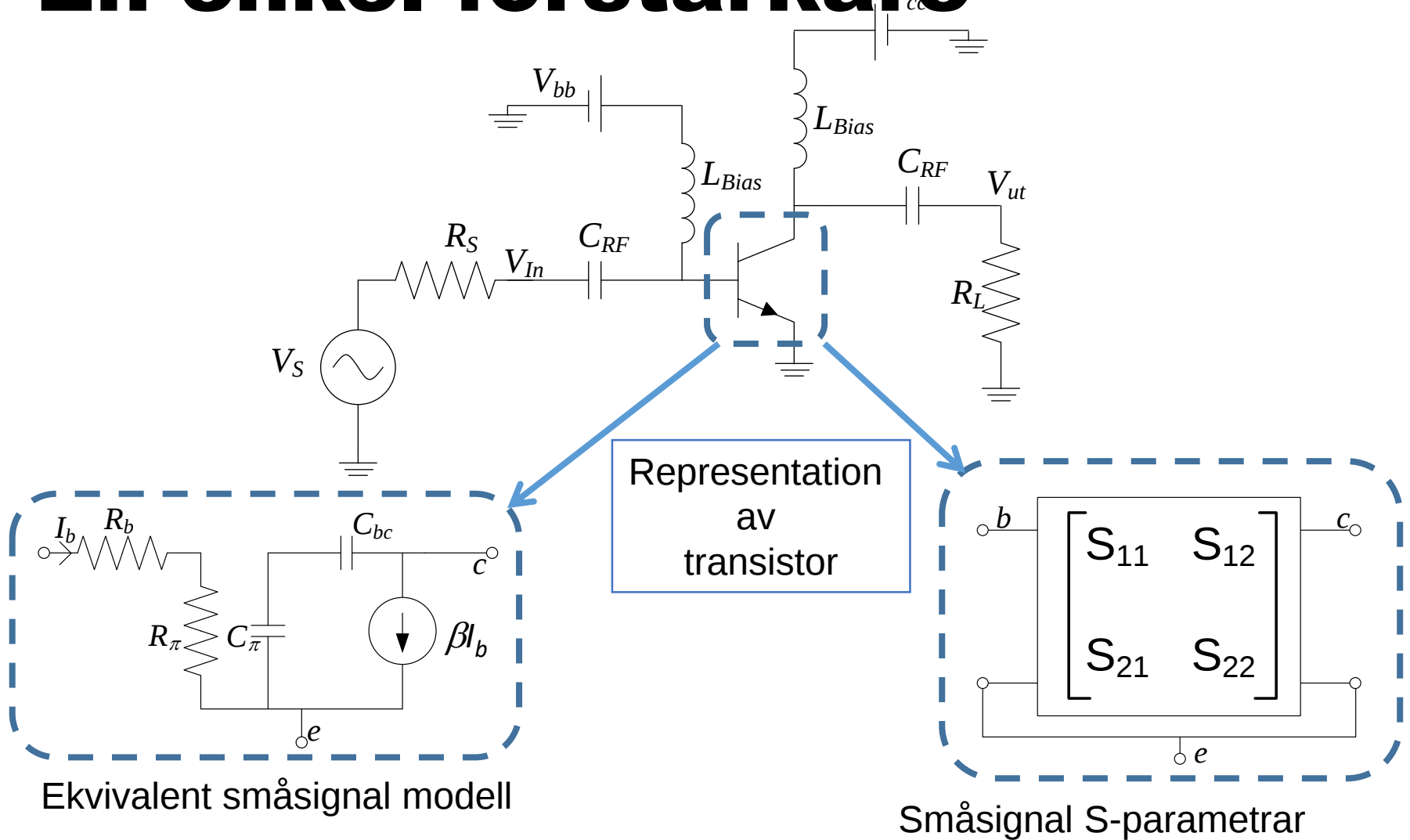
Strömsving



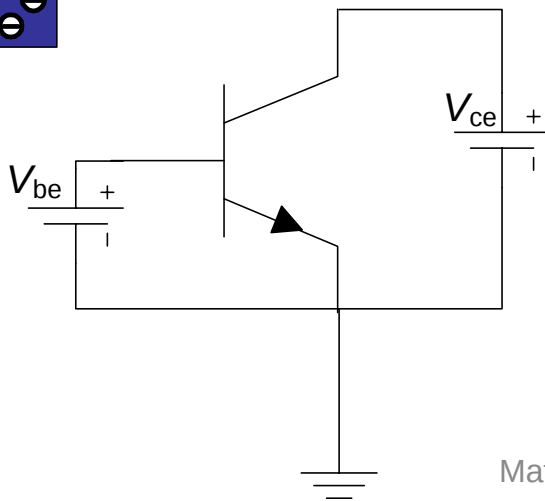
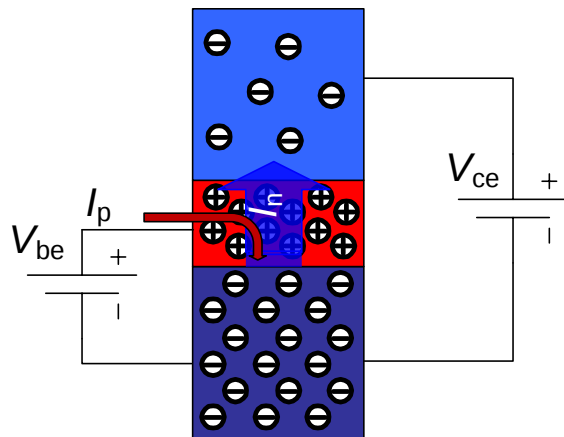
Spänningssving



En enkel förstärkare

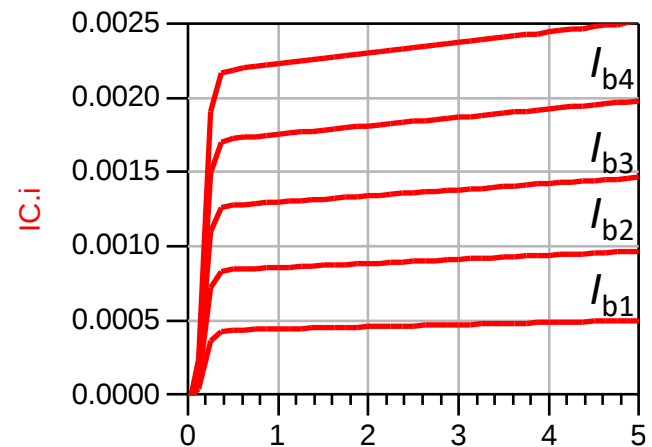


Transistorns DC karaktäristik



Strömmen mellan kollektor och emitter beror på spänningen däremellan (V_{ce}) samt strömmen in på basen som beror av spänningen (V_{be})

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

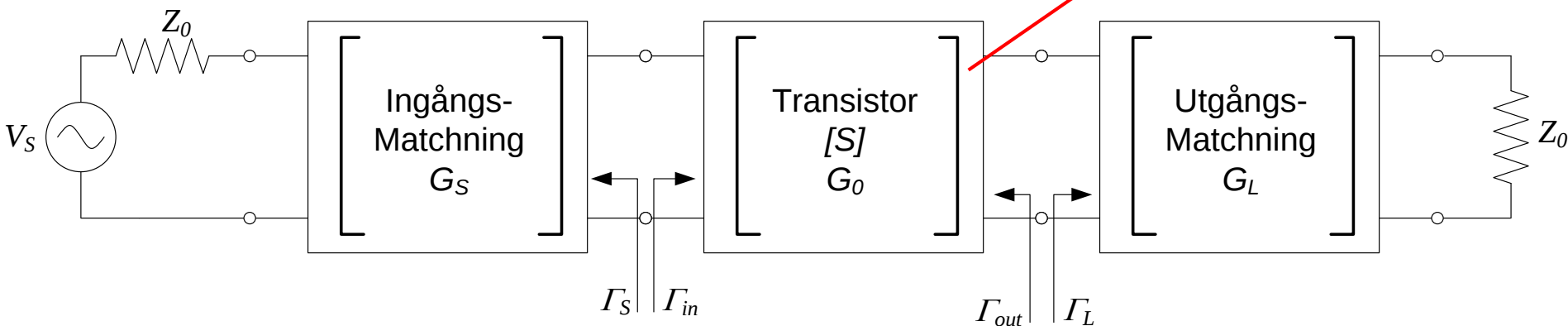
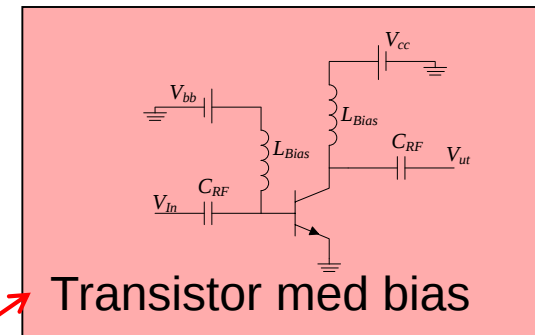


Storsignalförstärkning

- Transistorns karaktäristik beror av arbetspunkt
 - S-parametrar gäller vid **en** arbetspunkt
 - En småsignalmodell krävs per arbetspunkt
- Om RF signalens amplitud är jämförbar med biasspänningen så gäller inte småsignalantagandet

Betraktelse av en förstärkare

- En förstärkare är sammansättningen av
 - 1. En stabil transistor med biaseringsnät
 - 2. Matchningsnät för ingång och utgång



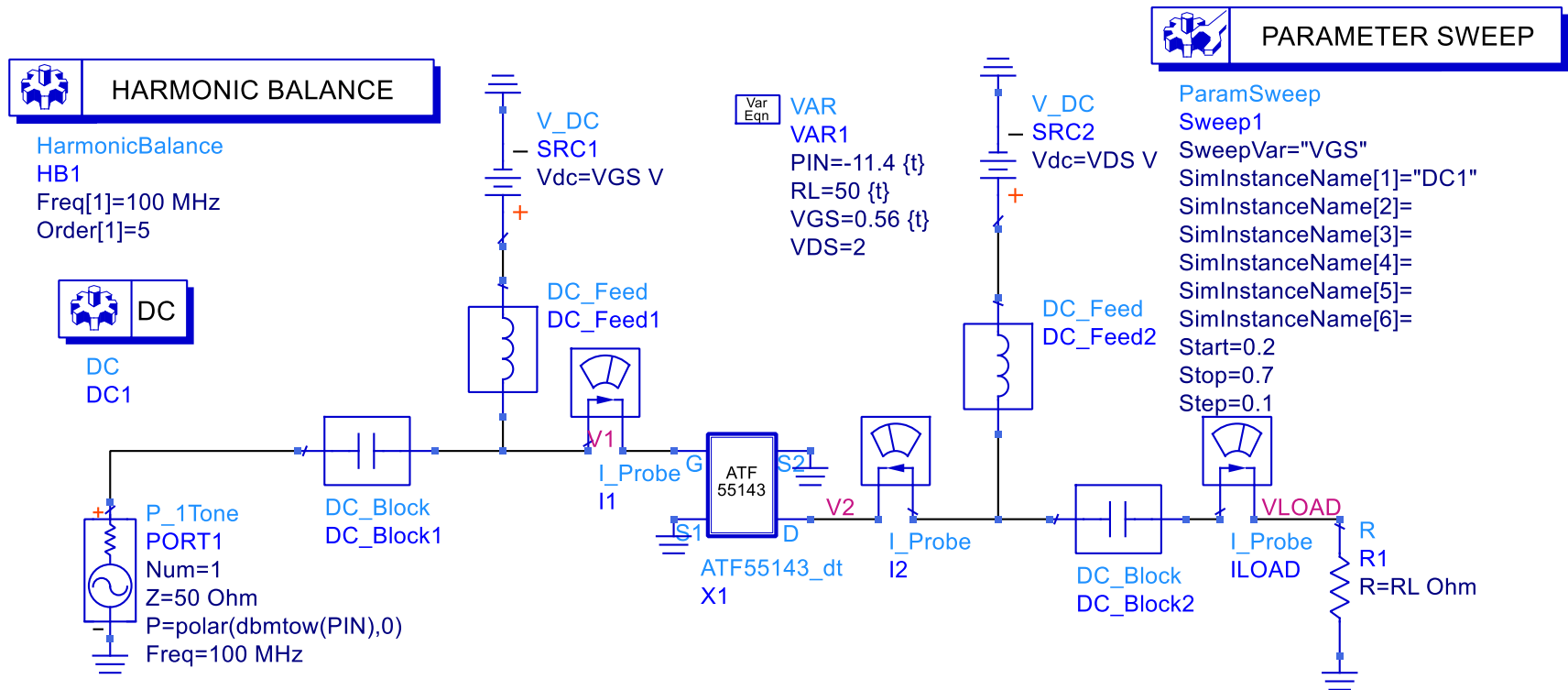
Gäller för stora signaler, men G_S och G_L kan inte längre beskrivas av S-parametrar

$$G_T = \frac{P_L}{P_{avs}} = \frac{(1 - |\Gamma_S|^2)}{|1 - \Gamma_S \Gamma_{in}|^2} |S_{21}|^2 \frac{(1 - |\Gamma_L|^2)}{|1 - S_{22} \Gamma_L|^2} = G_S G_0 G_L$$

Harmonic balance i ADS

- En icke linjär kretssimulator
- Löser problemet i frekvensdomän
 - Fundamental
 - Övertoner
- Löser ut nodspänningar och grenströmmar
- Ström och spänningsvågformer genom IFFT
- Simulering med flera olika insignaler (frekvenser) är möjliga

Harmonic balance i ADS

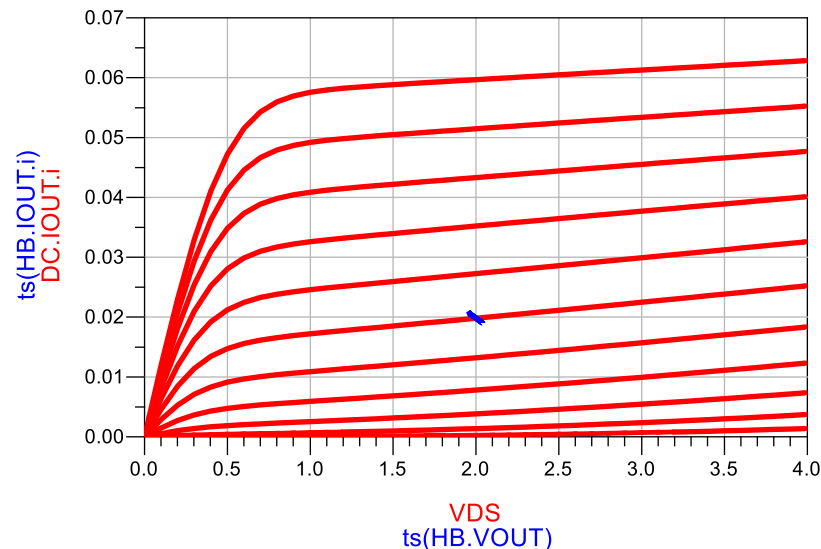


Simuleringsresultat

- Linjär förstärkning
- RF ändrar inte bias

freq	S(2,1)
1.000 GHz	12.521 / 157.470

Pin	GT_dB
-30.000	12.519



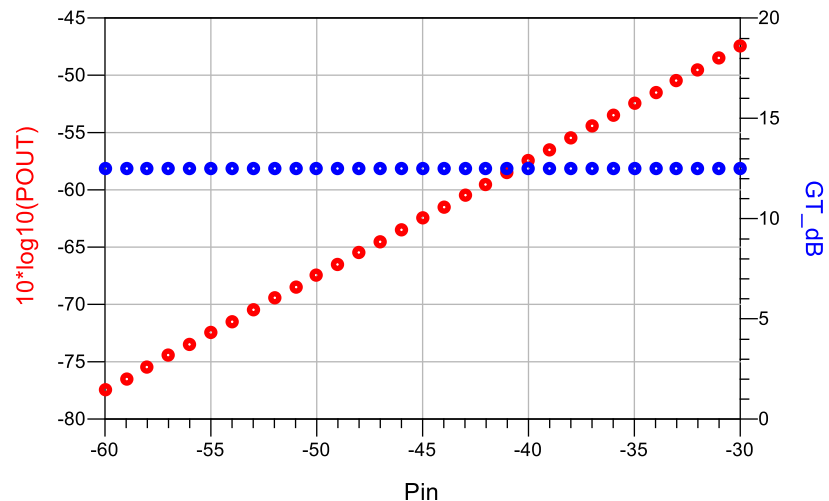
$$\text{Eqn } POUT = 0.5 * \text{real}(HB.VLOAD[1] * \text{conj}(HB.ILOAD.i[1]))$$

$$\text{Eqn } GT = POUT / PIN$$

$$\text{Eqn } GT_dB = 10 * \log_{10}(GT)$$

Småsignalförstärkare

- In-effekten liten jämfört med DC effekten
- AC signalen orsakar liten svängning kring arbetspunkten
- S-parametrar gäller
- Förstärkningen är oberoende av P_{in}

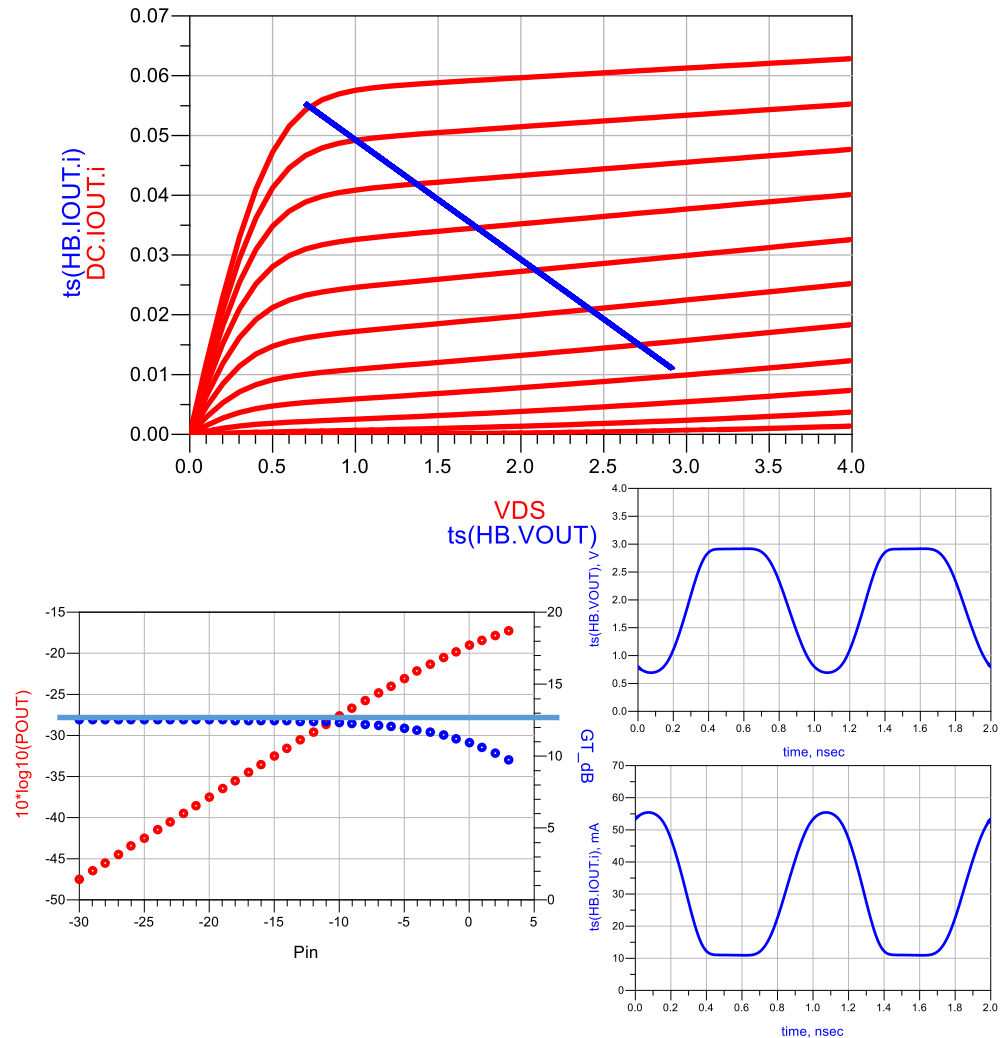


Pin ökar

- Ström och spänningssvingen ökar
 - Småsignalmodellen inte längre giltig
 - S-parametrar blir effektberoende
 - Storsignalmodell nödvändig
 - Alternativt load-pull mätningar/simuleringar
- Vid hög in-effekt kommer svinget begränsas av transistorns arbetsområde
- Transistorn blir starkt icke-linjär

Storsignalförstärkare

- AC och DC effekt likvärdiga
- Stort AC sving
- Förstärkningskompression
- Icke-linjär karakteristik



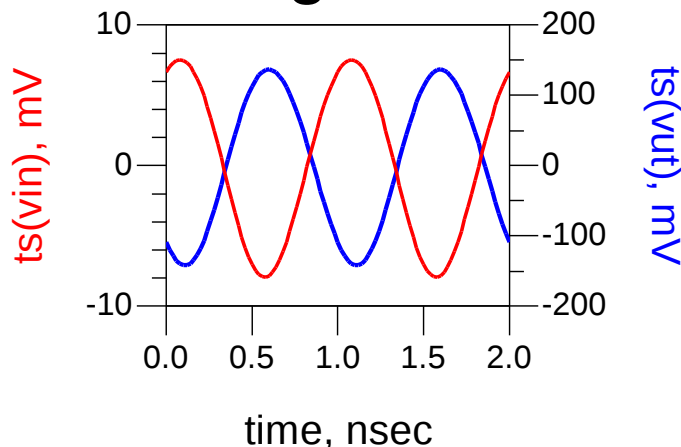
Ickelinjär förstärkare

- En ickelinjär förstärkare förvränger en perfekt sinusvåg till distorderade vågformer
- En distorderad signal innehåller inte bara grundfrekvensen utan även dess övertoner
 - Orsakar problem i kommunikationssystem
 - Användbart för frekvensmultiplikation och frekvensblandning

Jämförelse av vågformer

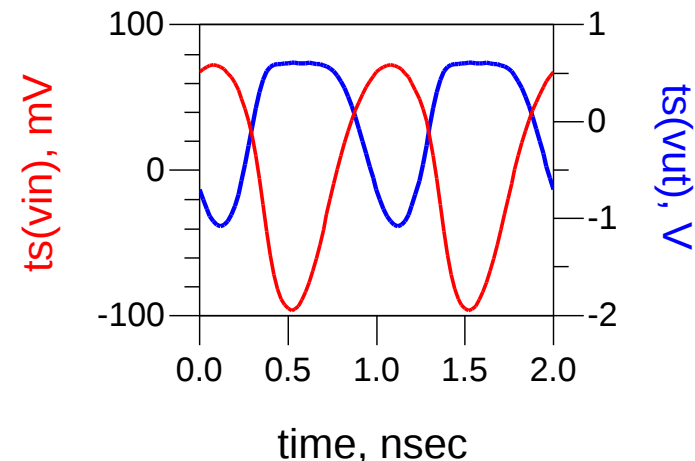
Småsignalförstärkare

- Linjärt förstärkt signal, 180° fasförskjuten jämfört med insignalen



Effektförstärkare

- Distorderad utsignal



Verkningsgrad

- Verkningsgraden anger hur stor del av DC effekt som omvandlas till RF effekt
- Hög verkningsgrad är viktigt
- För en basstation så innebär höjd effektförbrukning ökat behov av aktiv kylning
 - 2-5% av I-ländernas energikonsumtion kommer från kommunikationssystem
- För mobiltelefonanvändaren innebär ökad effektförbrukning kortad batteritid

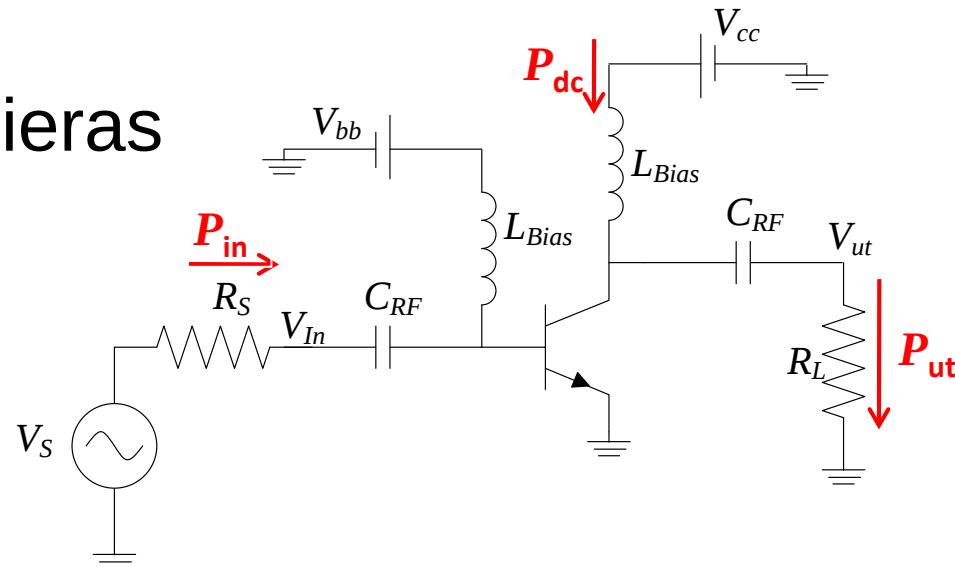
Definiton av verkningsgrad

- Verkningsgraden definieras på olika sätt

- RF ut delat med DC in

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{dc}}$$

Drain (collector)-efficiency

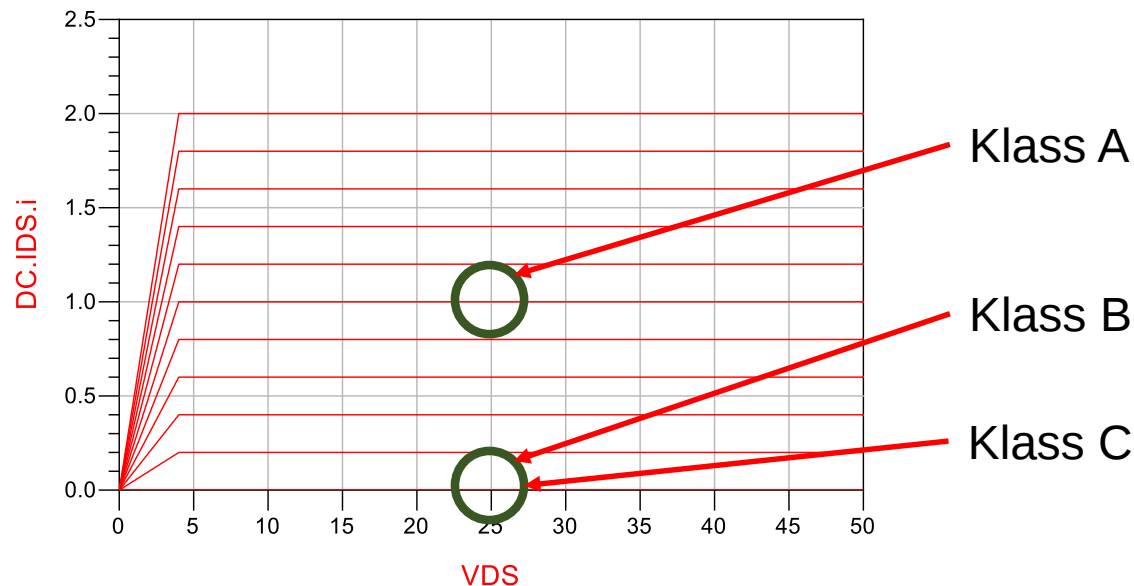


- Power added efficiency (PAE) tar hänsyn till den inkommande RF effekten, viktigt vid lågt gain

$$\eta_{PAE} = \frac{P_{ut} - P_{in}}{P_{dc}} = \left(1 - \frac{1}{G}\right) \frac{P_{ut}}{P_{dc}} = \left(1 - \frac{1}{G}\right) \eta$$

Förstärkarklasser

- Ges av periodtiden som transistorn leder
 - Klass A: transistorn leder 100% av periodtiden
 - Klass B: transistorn leder 50% av periodtiden
 - Klass C: transistorn leder <50% av periodtiden



Klass A

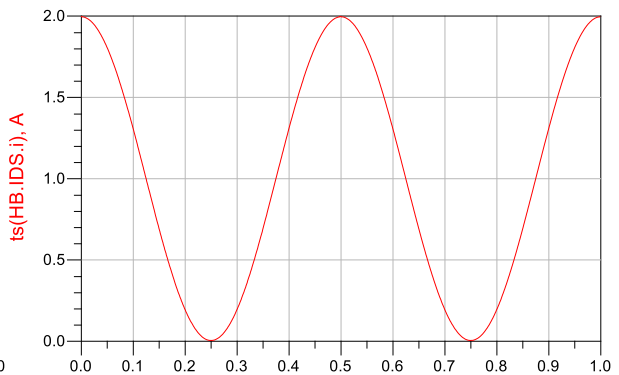
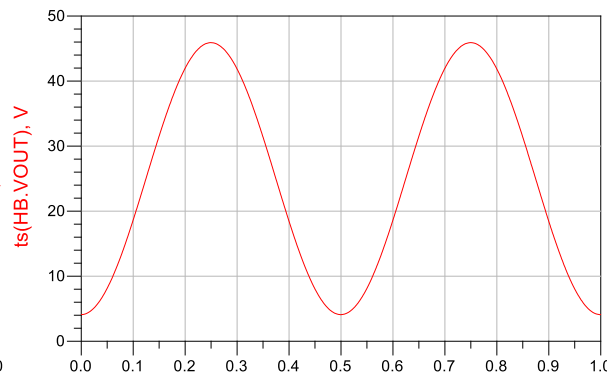
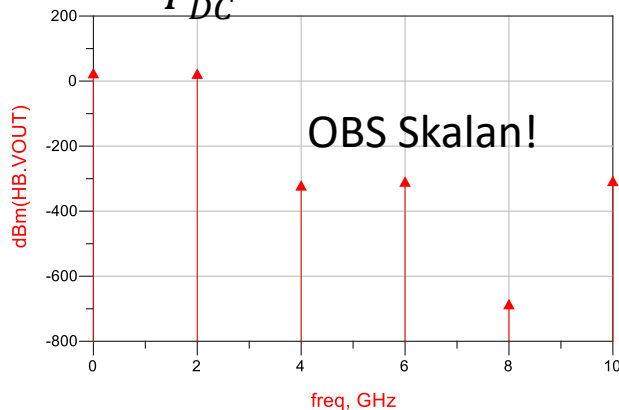
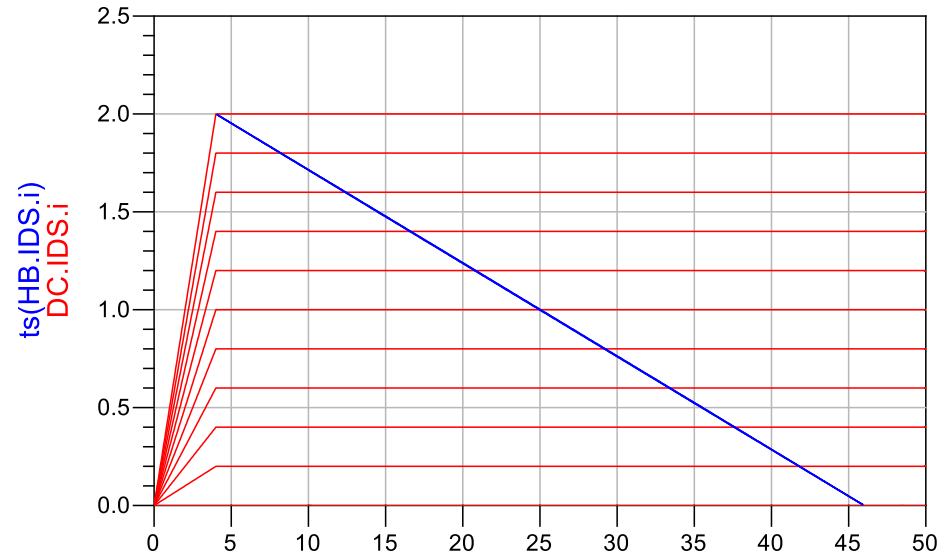
- 100% duty cycle
- Linjär

$$P_{DC} = V_{DC} I_{DC} = \frac{V_{max} I_{max}}{4}$$

$$P_{RF,max} = \frac{1}{2} |V(t)| |I(t)| = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} V_{max} \right) \left(\frac{1}{2} I_{max} \right) = \frac{V_{max} I_{max}}{8}$$

$$\eta = \frac{P_{RF}}{P_{DC}} = 50\%$$

$$RL = \frac{V_{max}}{I_{max}}$$



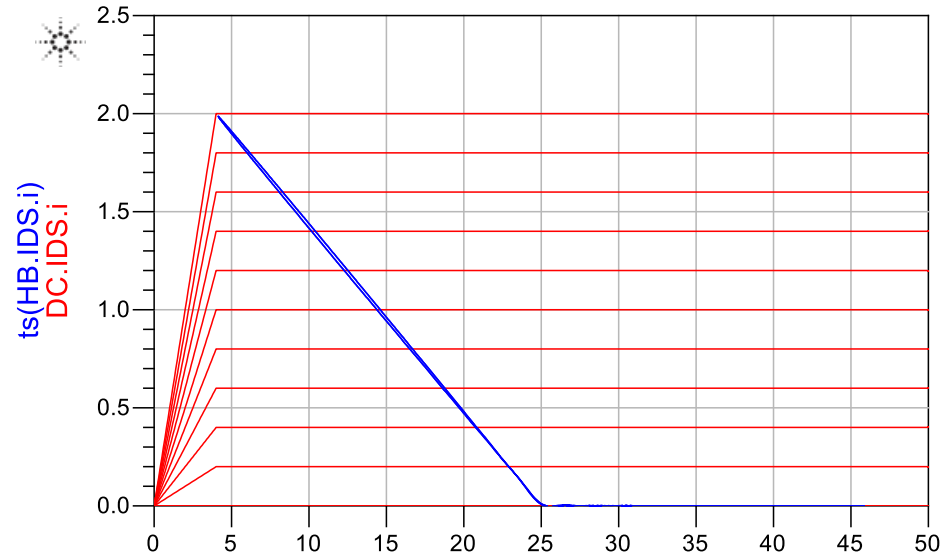
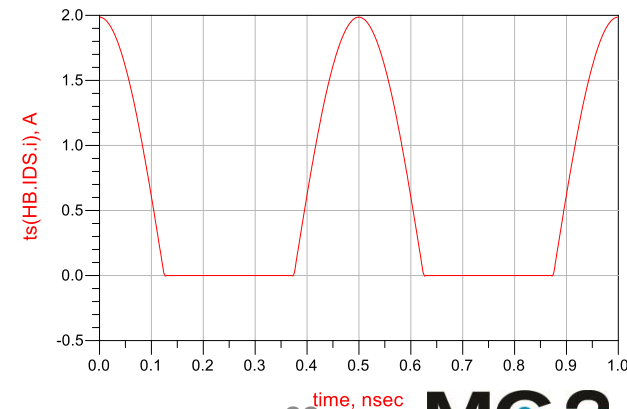
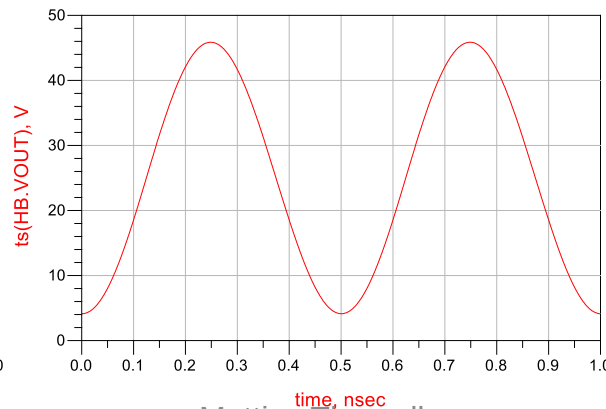
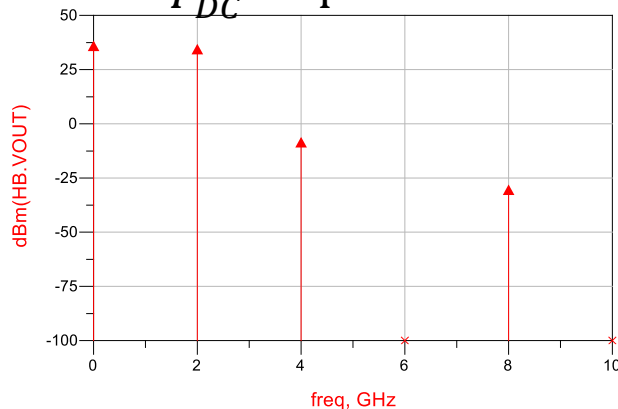
Klass B

- 50% duty cycle
- Ickelinjär

$$P_{DC} = V_{DC} I_{DC} = V_{DD} \frac{I_{max}}{\pi}$$

$$P_{RF,max} = \frac{1}{2} |V(t)| |I(t)| = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} I_{max} \right) V_{DD} = \frac{I_{max}}{4} V_{DD}$$

$$\eta = \frac{P_{RF}}{P_{DC}} = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$$

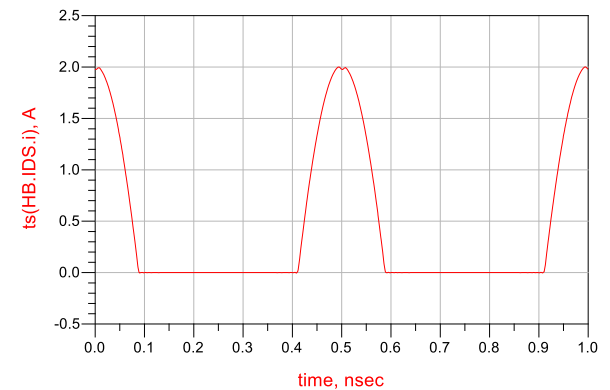
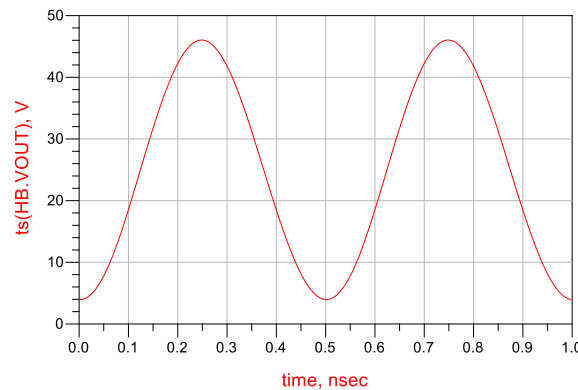
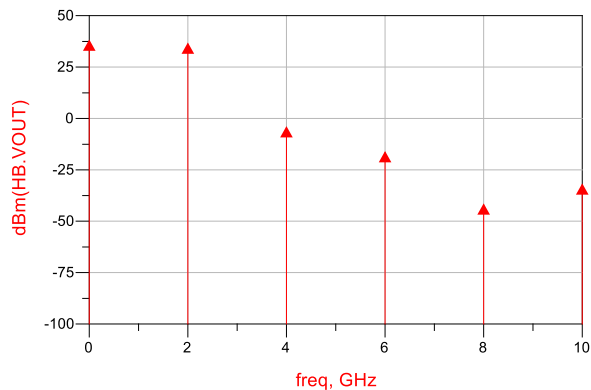
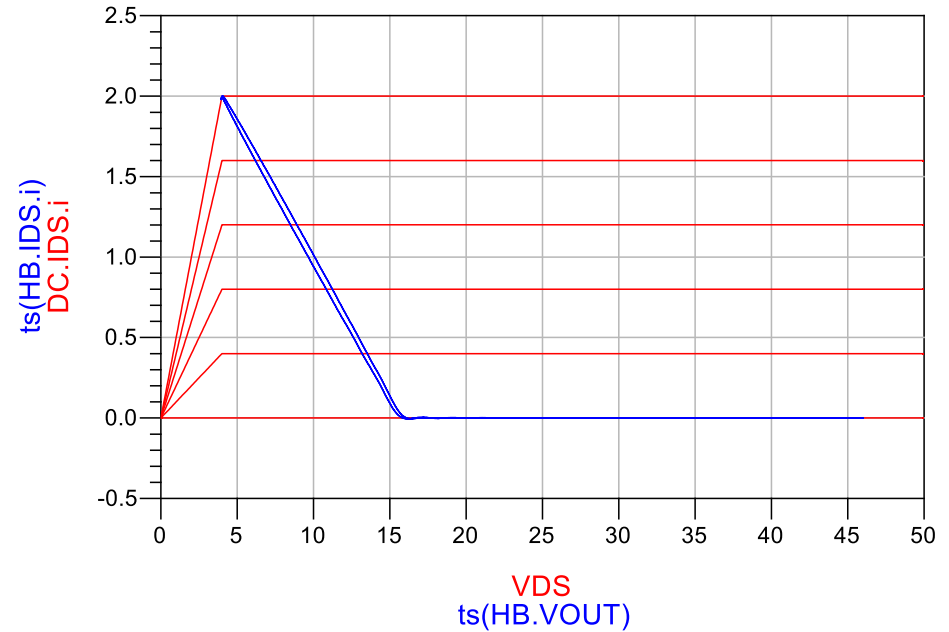


V_{DS}
 $ts(HB.VOUT)$

$$RL = \frac{V_{DD}}{I_{max}}$$

Klass C

- < 50% duty cycle
- Ickelinjär
- > 78.5 % verkningsgrad



Sammanfattning: Förstärkarklasser

- Klass A
 - $\leq 50\%$ verkningsgrad
 - Linjär
- Klass B
 - Leder 50% av tiden
 - $\leq 78.5\%$ verkningsgrad
 - Ickelinjär
- Klass C
 - Leder $< 50\%$ av tiden
 - $< 100\%$
 - Väldigt ickelinjär

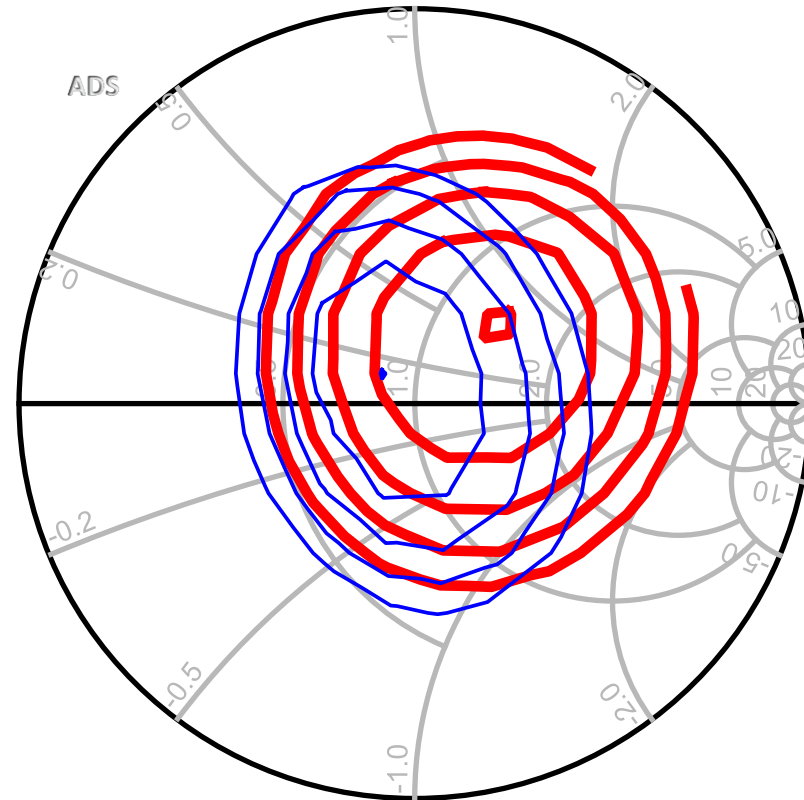
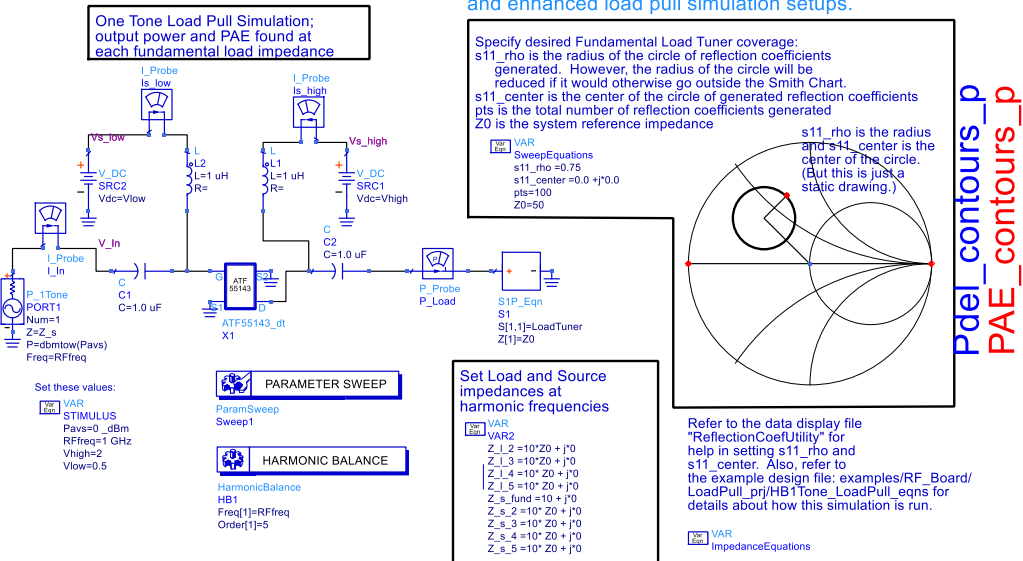
Fler förstärkarklasser

- Klass AB
 - Mellan 100 % av 50 % duty cycle
- Klass D
 - Switchad push-pull förstärkare
- Klass E
 - Switchad förstärkare med resonator
- Klass F/F⁻¹
 - Överstyrda förstärkare med harmonisk last

Load-pull

- Uteffekt och verkningsgrad beror på Γ_L
- Måste mätas med impedanstuners
 - Kan simuleras med ickelinjär modell
- Konturer med konstant uteffekt och verkningsgrad fås
 - Motsvarar inte konstanta förstärkningscirkclar
- Välj lämplig Γ_L
 - Ingången anpassas sedan till Γ_{in}^*

Load-Pull konturer



indep(PAE_contours_p) (0.000 to 45.000)
indep(Pdel_contours_p) (0.000 to 50.000)

Design av effektförstärkare

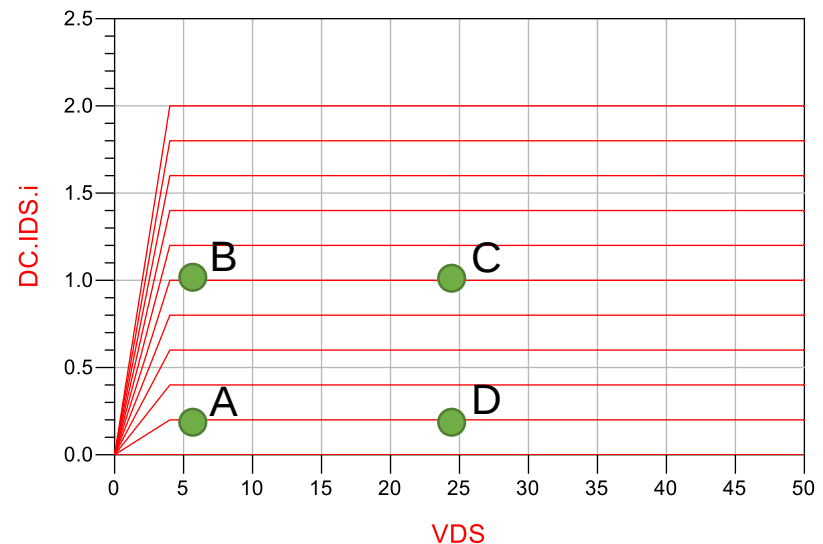
- Kontrollera stabilitet
 - Första approximation från S-parametrar
- Använd load-pull för val av Γ_L
 - Maximera uteffekt
 - Maximera verkningsgrad
 - Bandbredd
- Konjugatanpassa ingången

Sammanfattning förstärkardesign

- Välja transistor
 - Arbetspunkt
- Designa bias nät
- Stabilisering
- Designa anpassningsnät
 - Beror på tillämpning
 - Tänk på bandbredd

Val av arbetspunkt

- A. Låg effekt och lågt brus
- B. Hög förstärkning och lågt brus
- C. Hög effekt (Klass A)
- D. Hög effekt och bra verkningsgrad (Klass AB, B)



Sammanfattning: Förstärkare

- Max gain förstärkare
 - Simultan konjugatanpassning in/utgång
- Lågbrusförstärkare
 - Ingången för minimalt brus ($\Gamma_S = \Gamma_{opt}$)
 - Utgången för max förstärkning ($\Gamma_L = \Gamma_{UT}^*$)
 - Avvägning mellan gain/brus (använd cirkclar)
- Effektförstärkare
 - Utgången för hög uteffekt och hög verkningsgrad
 - Ingången för max förstärkning ($\Gamma_S = \Gamma_{IN}^*$)

Flerstegsförstärkare

- Varje steg består av transistor med anpassningsnät
- För mottagare optimeras första steget för minimalt brus och efterföljande steg optimeras för förstärkning
- För sändare optimeras första steget för förstärkning och sista steget för uteffekt/verkningsgrad

Sammanfattning

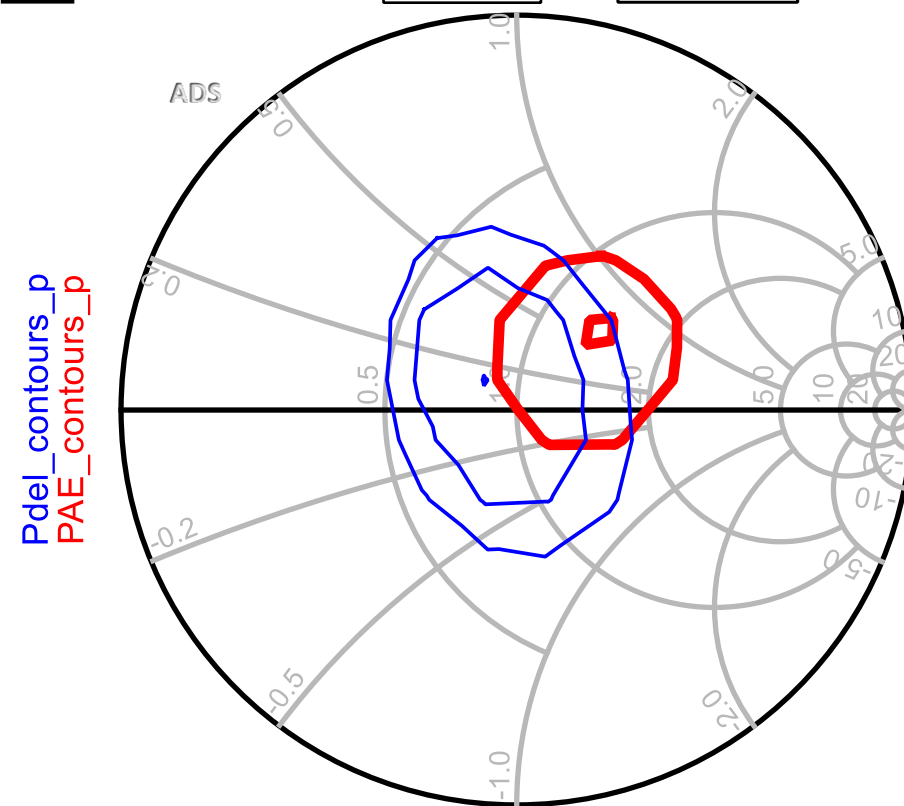
- Vid stora in-signaler gäller inte S-parametrarna
- Icke-linjär simulator nödvändig
 - Harmonic Balance i ADS
- Effektförstärkare
 - Arbetspunkt avgör klass
 - Verkningsgrad viktigt
 - Load-pull mätningar/simuleringar nödvändiga
 - Sätter uteffekten för en sändare

Övning

- PAE > 50%
- Max uteffekt
- L-nät
- *S-parametrar* vid given in-effekt

$$S = \begin{bmatrix} 0.8 \angle -90^\circ & 0.01 \angle 0^\circ \\ 4 \angle 180^\circ & 0.7 \angle -90^\circ \end{bmatrix}$$

	Maximum Power Delivered, dBm	Maximum Power-Added Efficiency, %
Eqn Pdel_step=0.5	15.68	53.38
Eqn PAE_step=3.3		



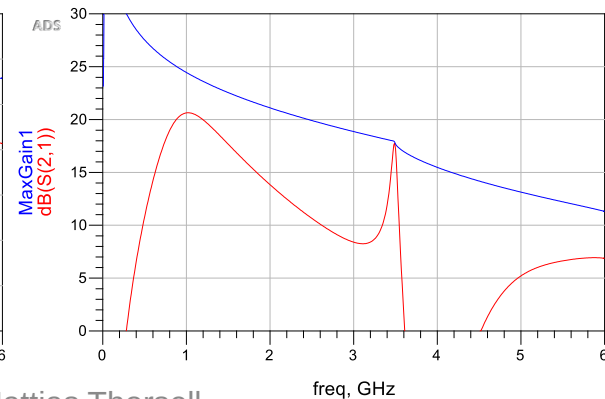
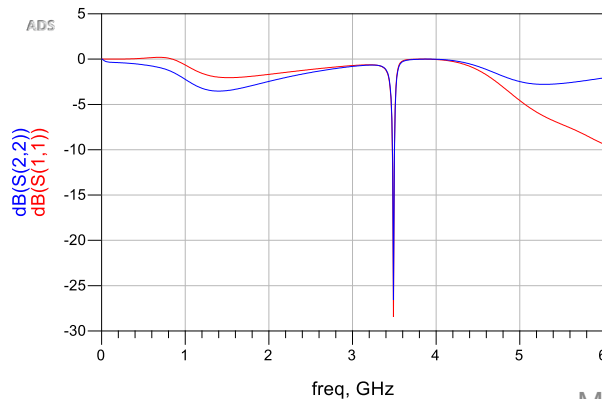
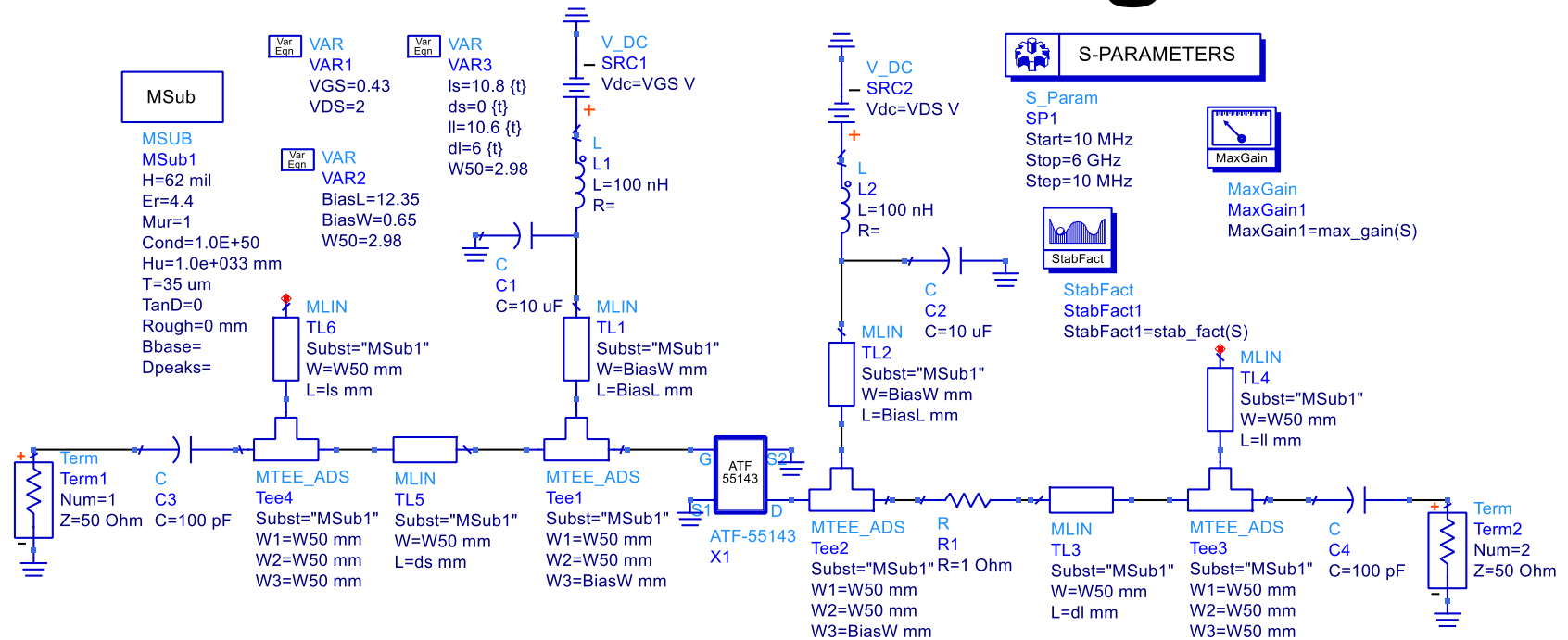
indep(PAE_contours_p) (0.000 to 22.000)
indep(Pdel_contours_p) (0.000 to 34.000)

Projektet

Ickelinjära simuleringar

- Använd "Harmonic balance" simulatorn
- Simulera uteffekt mot ineffekt vid f_0
 - Ta fram P1dB
 - Ta fram OIP3 utifrån 3e tonen
 - **Gör inte två-tons simulering!**
- Linjära simuleringar
 - DC (markera arbetspunkt)
 - S-parametrar (100% bandbredd)
 - Brus (100% bandbredd)

Förstärkarsimulering



Finns i "Sources Freq Domain"



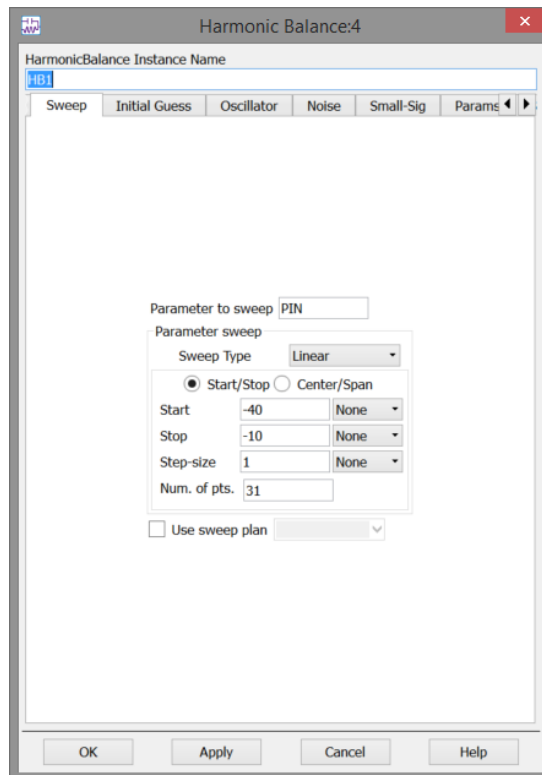
Lägg till nodnamn
Och strömprob



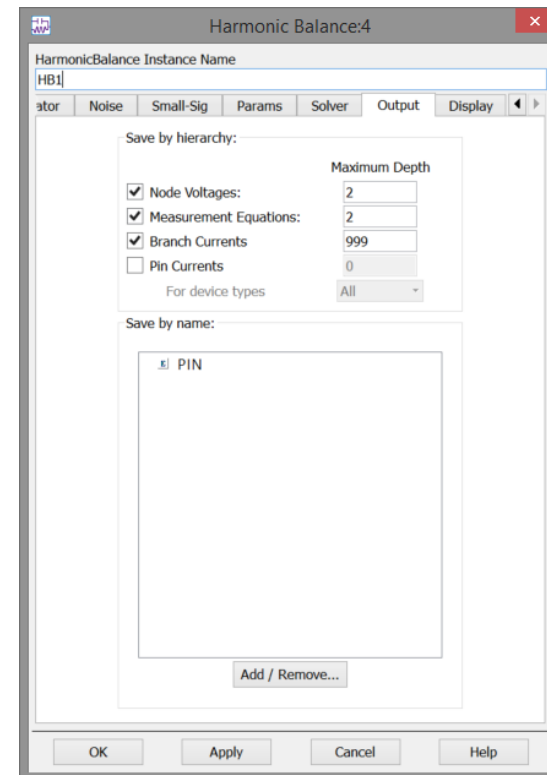
MC2
Microtechnology and Nanoscience

Öppna HB komponent

Lägg in svep för PIN från
låg till hög ineffekt

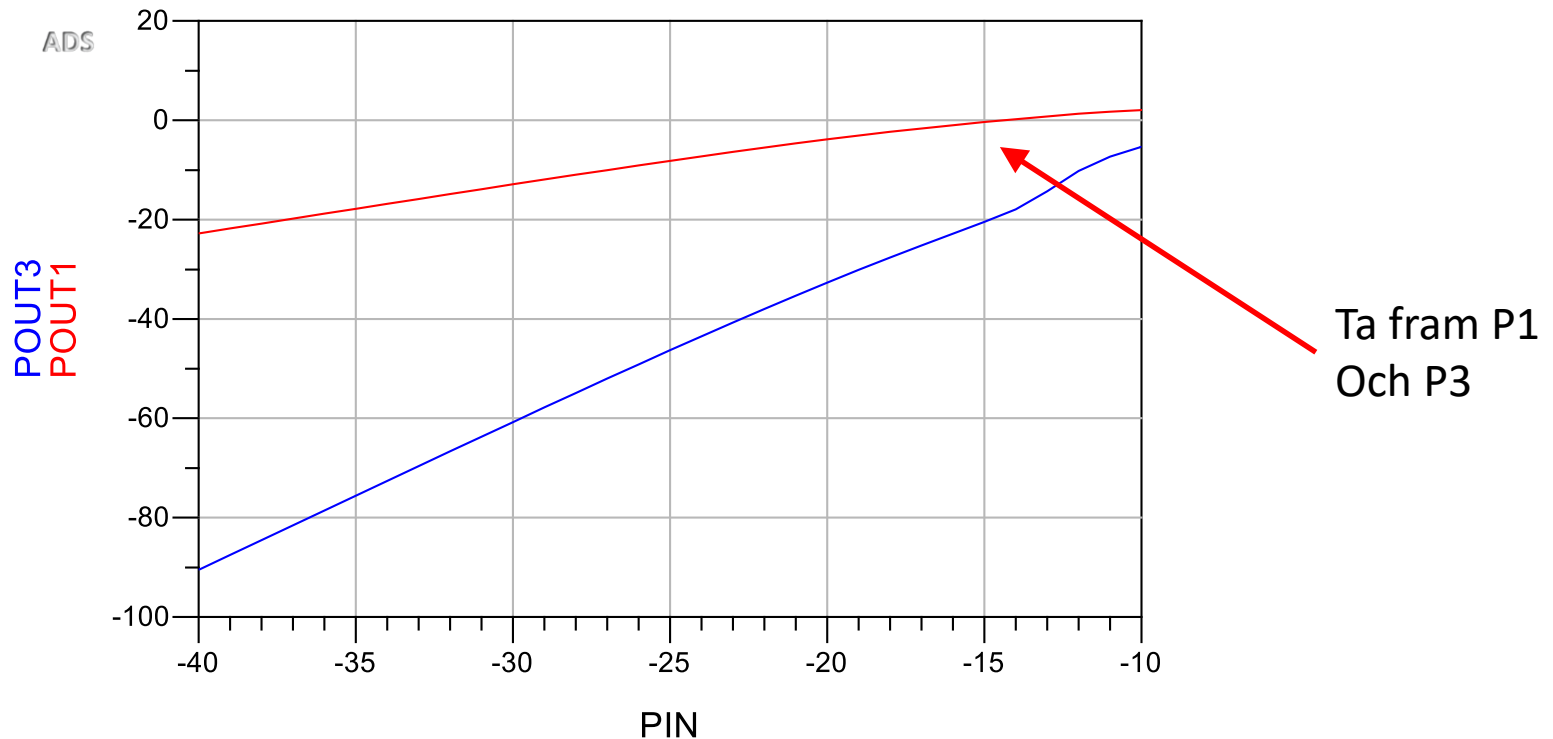


Lägg till PIN som Output
variabel



Linjäritet

$$\text{Eqn POUT1} = 10 \cdot \log_{10}(\text{real}(\text{VLOAD}[1] \cdot \text{conj}(\text{ILOAD.i}[1]))/2) + 3$$
$$\text{Eqn POUT3} = 10 \cdot \log_{10}(\text{real}(\text{VLOAD}[3] \cdot \text{conj}(\text{ILOAD.i}[3]))/2) + 3$$



Vågformer (extra)

