

Föreläsning 11

Förstärkare och deras frekvensberoende

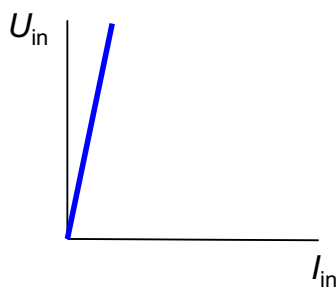
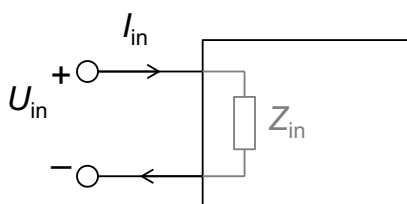
Erik Agrell 2017-09-27

Innehåll:

1. In- och utimpedans
2. Mer om mikrofoner
3. Två sorters förstärkare
4. Bandbredds begränsning

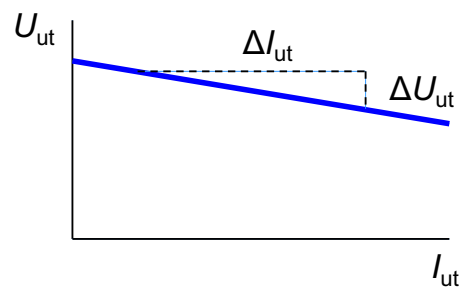
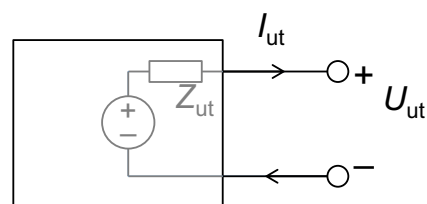
Bilder av Bengt Molin och Erik Agrell

1. In- och utimpedans



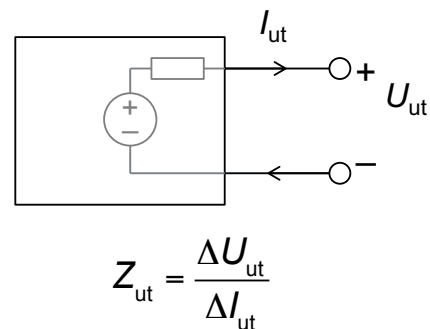
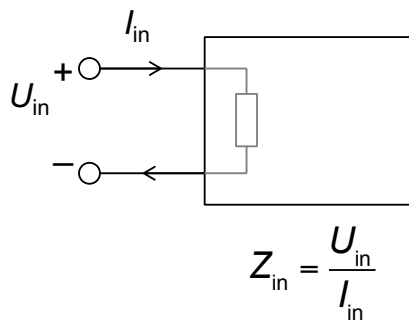
Inimpedansen definieras som

$$Z_{in} = \frac{U_{in}}{I_{in}}$$



Utimpedansen definieras som

$$Z_{ut} = \frac{\Delta U_{ut}}{\Delta I_{ut}}$$

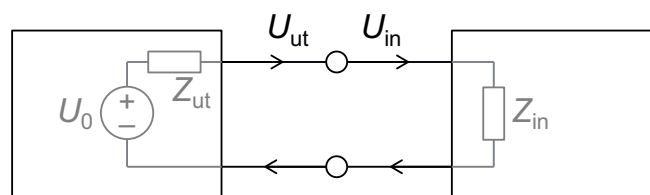


Man vill ha:

- hög $Z_{in} \Rightarrow$ kretsen drar ingen ström på ingången
- låg $Z_{ut} \Rightarrow$ spänningen sjunker inte även om man belastar utgången (tar ut ström)

Undantag: I högfrekvenssystem behöver man $Z_{ut} = Z_{in}$ för att undvika reflektioner

Ihopkopplad in- och utimpedans



Om man kopplar ihop två kretsar blir det **spänningsdelning** mellan Z_{ut} och Z_{in}

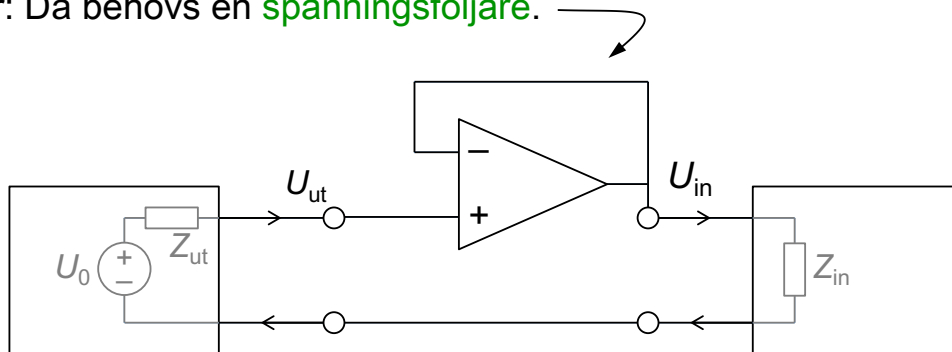
$$U_{in} = U_0 \frac{Z_{in}}{Z_{in} + Z_{ut}}$$

Om Z_{ut} är mycket mindre än Z_{in} :

$$U_{in} \approx U_0 \quad \text{OK}$$

Men om Z_{ut} inte är mycket mindre än Z_{in} då?

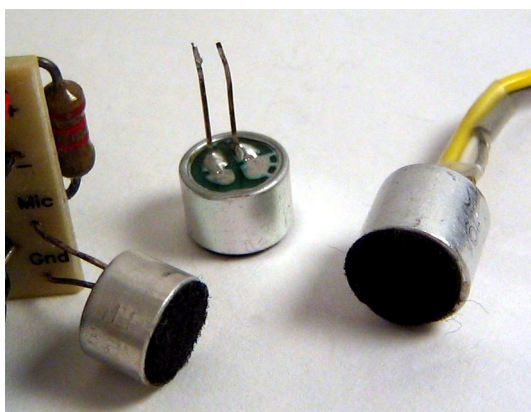
Svar: Då behövs en **spänningsföljare**.



Nu är $U_{in} = U_{ut} = U_0$ oavsett Z_{ut} och Z_{in}

2. Mer om mikrofoner

(från F10)



En **elektretmikrofon** fungerar som en spänningskälla + JFET

d.v.s. som en **växelströmkälla**

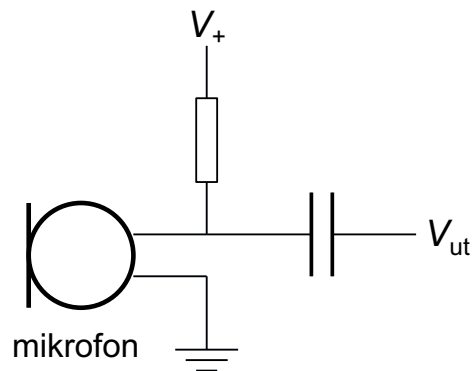
En elektretmikrofon har två ben, som ger utsignalen.

Men var lägger man då matningen?

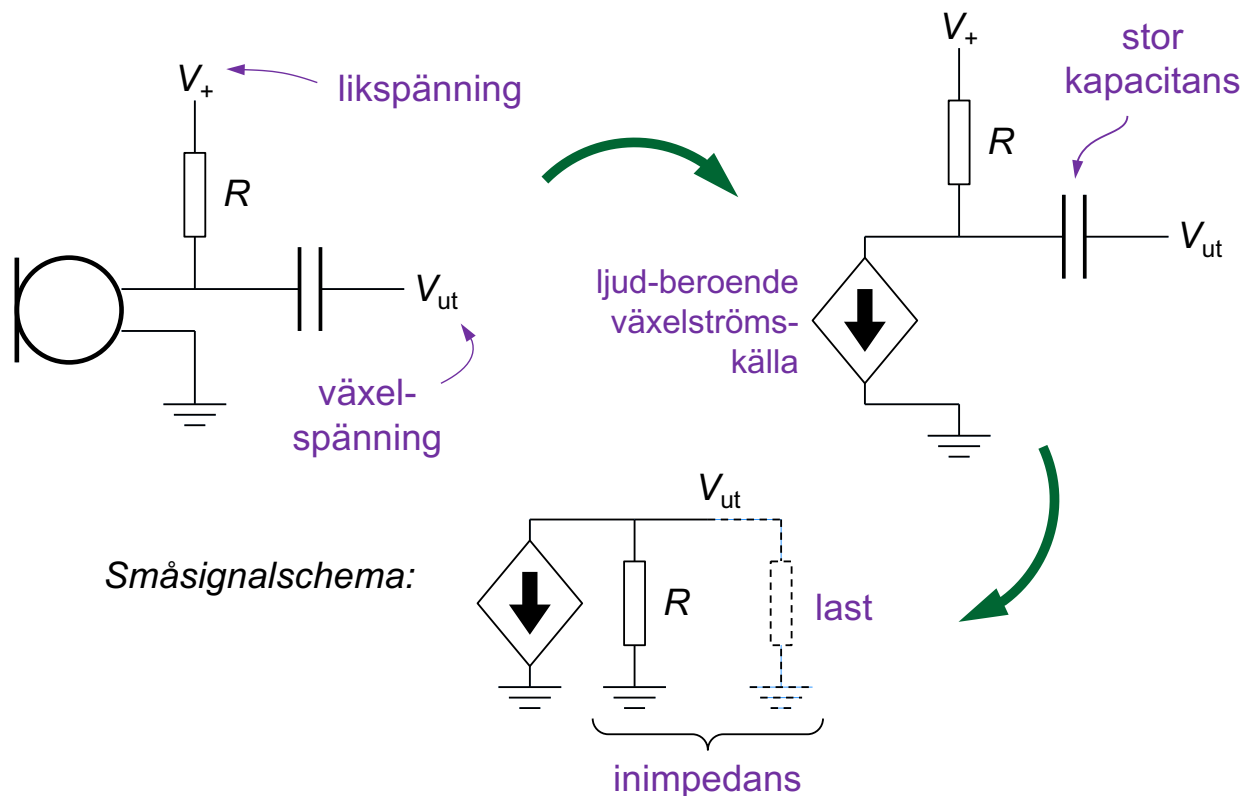
Svar: Mellan samma två ben som utsignalen. Inga problem: Matningen är DC, utsignalen är AC!

Inkoppling av mikrofonen

- Matningen (DC) läggs mellan samma två ben som ger utsignalen (AC)
- Matningen måste därför gå via en resistor
- Utsignalen måste gå via en kondensator



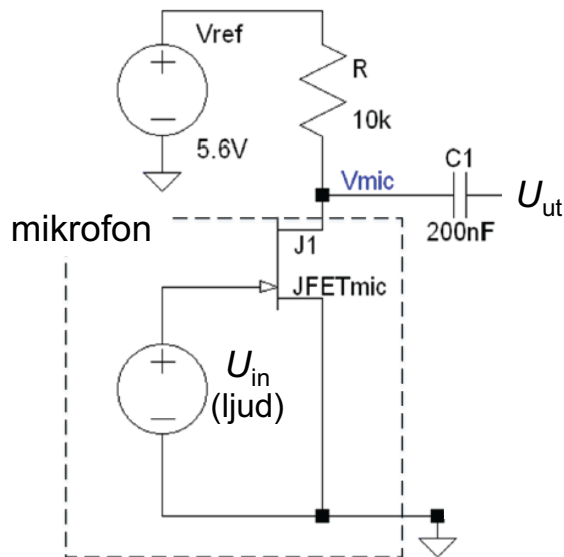
Ekvivalenta scheman



Exempel: elektretmikrofon

(nyttig inför lab 5)

- Enligt datablad har en viss elektretmikrofon känslighet -40 dBV @ 1Pa vid en inimpedans på $5 \text{ k}\Omega$. Vilken känslighet har den i nedanstående koppling?



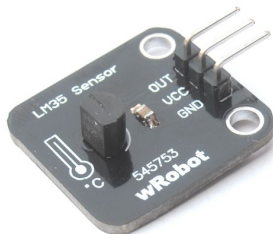
Utsignalens styrka
beror på R



Svar: -34 dBV @ 1 Pa

3. Två sorters förstärkare

Fall 1: **Spänningen** räcker inte till



Svag signalkälla
(ger ofta några mV)

Signal-
förstärkare

Elektronik
(behöver ofta $>1V$)

Givare,
mätinstrument,
mikrofon, ...

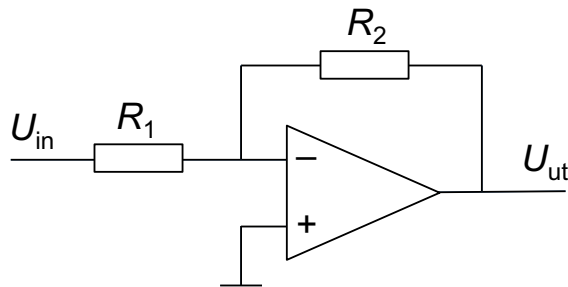
Ungefär samma
ström (liten)

Dator, digital
signalbehandling
(DSP), A/D, ...

Signalförstärkare byggs ofta med **operationsförstärkare**

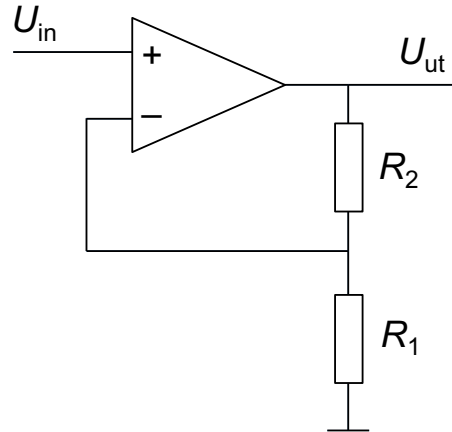
Signalförstärkare

Inverterande förstärkare:



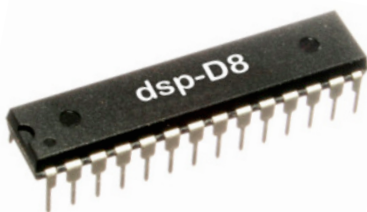
$$A = \frac{U_{ut}}{U_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$$

Icke inverterande förstärkare:



$$A = \frac{U_{ut}}{U_{in}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

Fall 2: Strömmen räcker inte till



Elektronik
(ger ofta <10 mA)

Dator, digital
signalbehandling
(DSP), D/A, ...

Effekt-
förstärkare

Ungefär samma
spänning (några V)

Elpryl
(behöver ofta >0.1 A)

Motor, lampa,
display, högtalare,
pump, värmare, ...

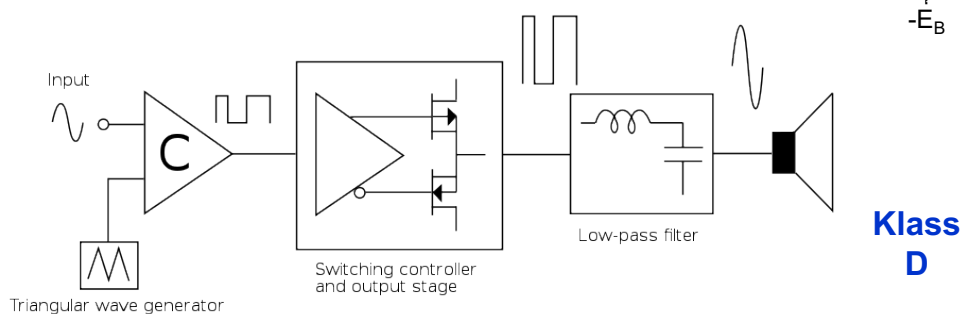
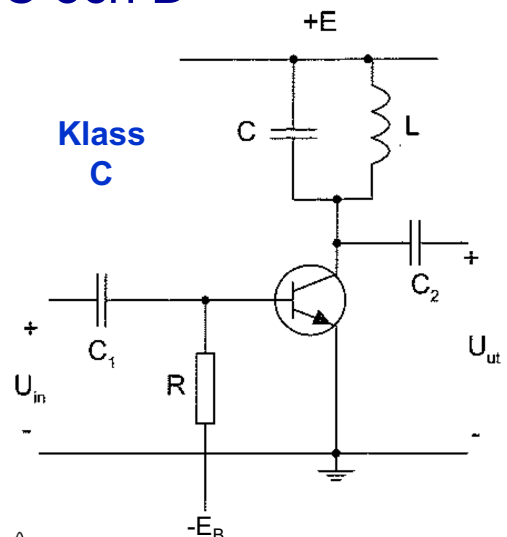
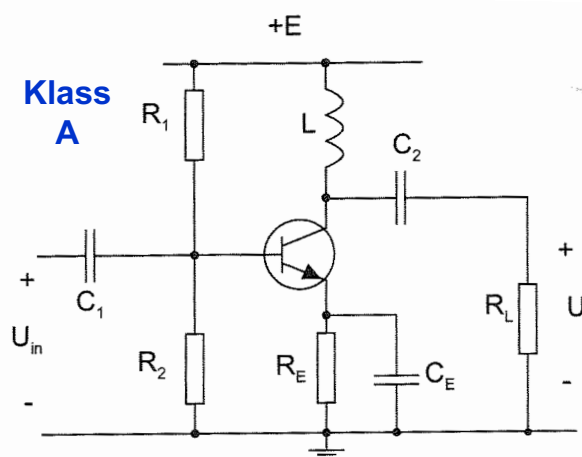
Effektförstärkare byggs ofta med transistorer

Effektförstärkare

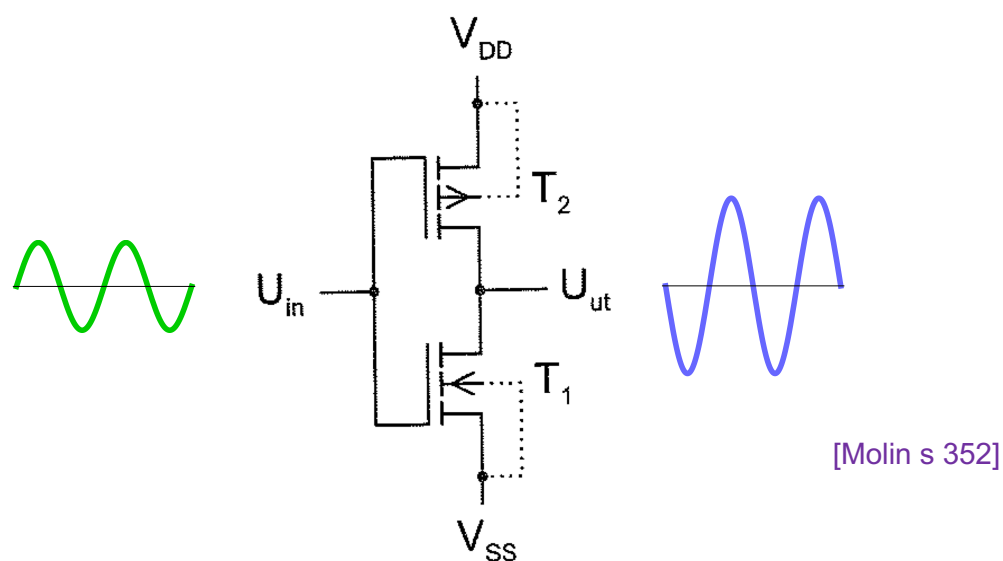
Typer av effektförstärkare:

- Klass A: en transistor leder hela tiden
- Klass B: två transistorer leder halva tiden var
- Klass C: en transistor leder en mindre del av tiden och en svängningskrets snyggar till utsignalen
- Klass D: digital logik och pulsbreddsmodulering
- Klass AB: två transistorer leder lite mer än halva tiden var

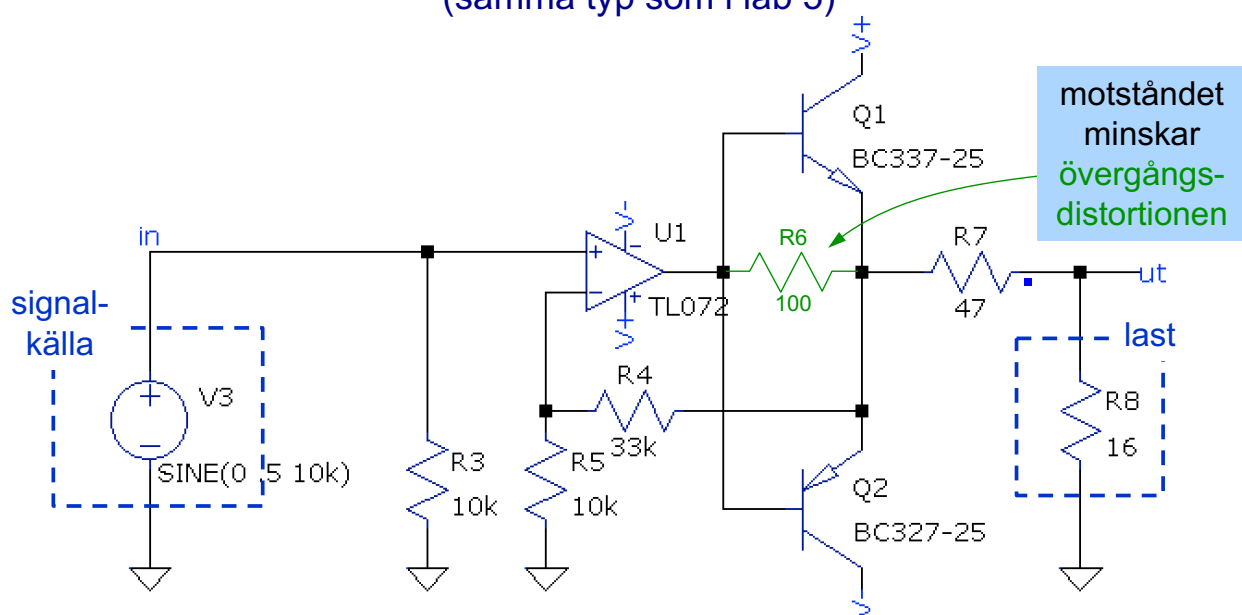
Exempel på klass A, C och D



Exempel på klass B (CMOS-förstärkaren från F10)



Exempel på klass B (samma typ som i lab 5)



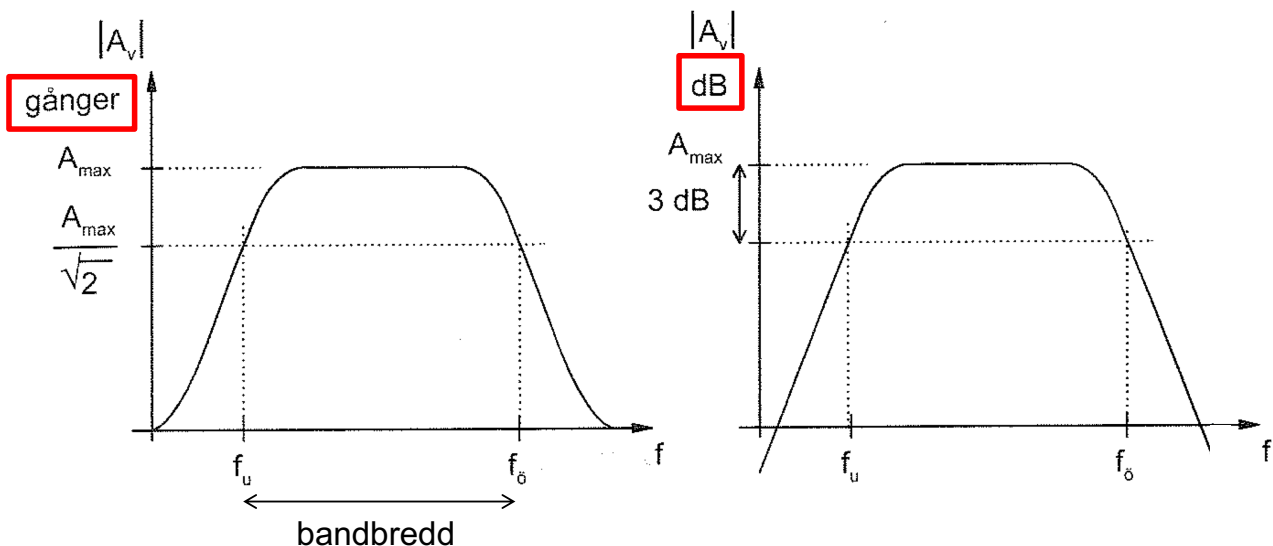
4. Bandbredds begränsning

En förstärkare bör förstärka de önskade signalerna, som ligger inom ett visst frekvensområde:

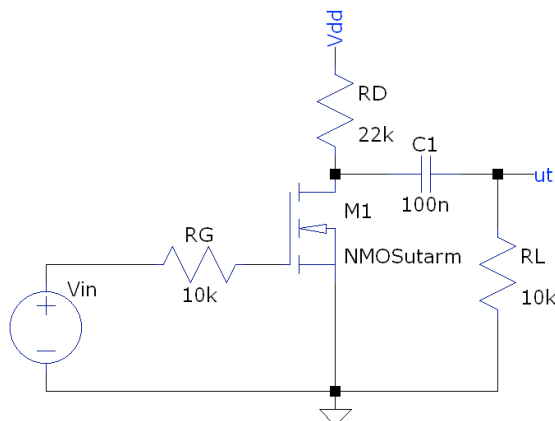
- audiosignaler: 20 Hz–10 kHz
- radiosignaler: ett smalt spektrum runt bärfrekvensen

Samtidigt vill man dämpa allt utanför det önskade frekvensområdet (störningar)

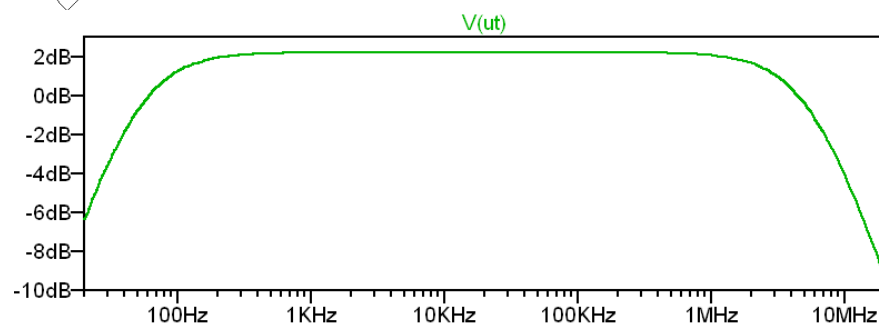
Gränsfrekvenser och bandbredd



Exempel 1: FET-förstärkare klass A



Förstärkningen minskar både vid låga och höga frekvenser – varför?

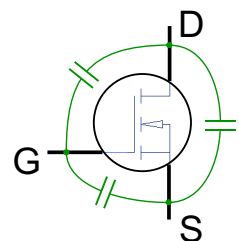


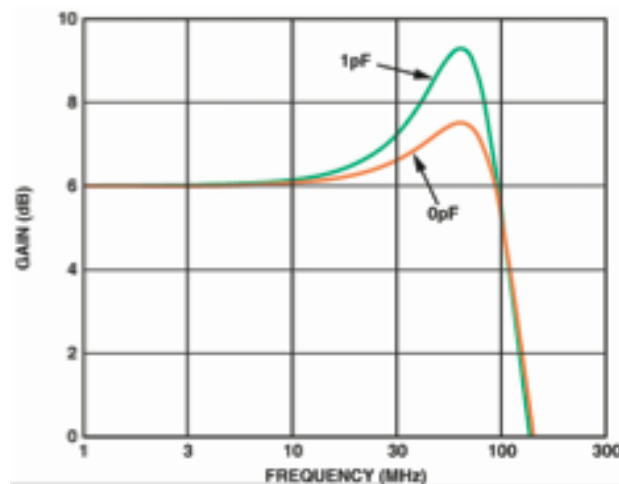
Varför minskar förstärkningen?

Vid **låga** frekvenser: Kondensatorn på utgången spärrar.

Vid **höga** frekvenser: "parasitkapacitanser"

- Alla kretsar innehåller små kapacitanser mellan anslutningarna
- Impedansen minskar när frekvensen ökar: $Z=1/(j\omega C)$
- Vid mycket höga frekvenser är kretsen i princip kortsluten
- Högfrekvenselektronik kräver därför speciella konstruktionsmetoder





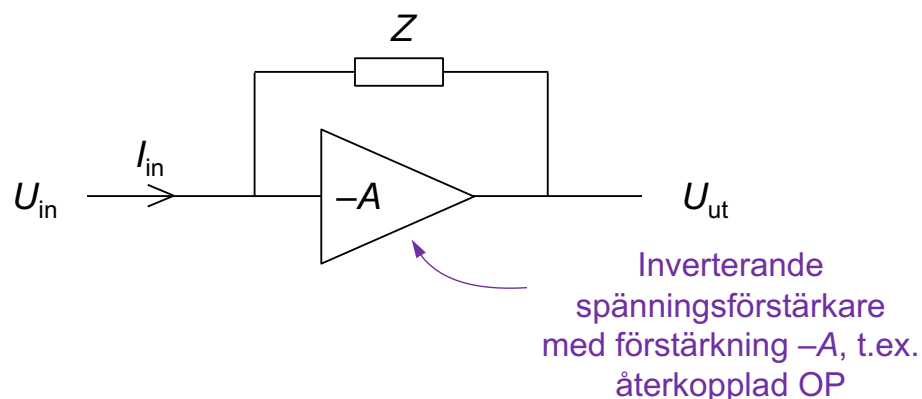
ELEKTRONIK TIDNINGEN

"I höghastighetskretsar krävs det inte mycket för att parasiterna ska påverka kretsens prestanda. Det kan räcka med en förändring på någontiondels pikofarad. För att ge ett exempel: en enda pF extra parasitkapacitans vid förstärkarens inverterande ingång kan ge ett nästan 2 dB högre toppvärde i frekvensdomänen (Figur 3)."

[John Ardizzoni, Elektroniktidningen 2006]

Millereffekten

Antag att det finns en impedans (vanligen kapacitiv) mellan en förstärkares in- och utgång:

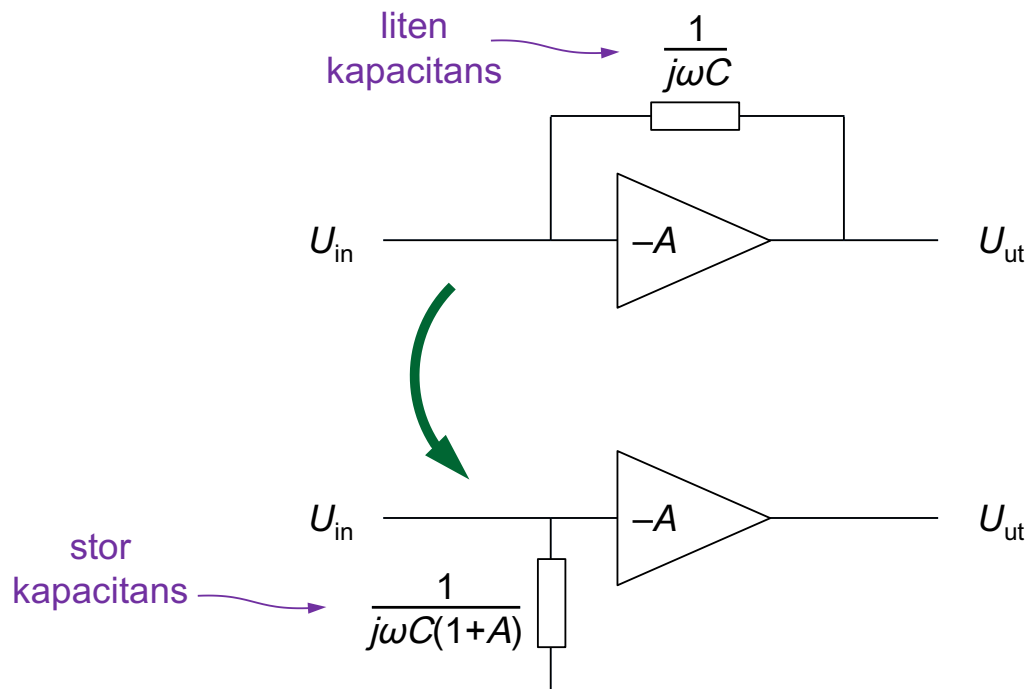


Hur stor är inimpedansen?



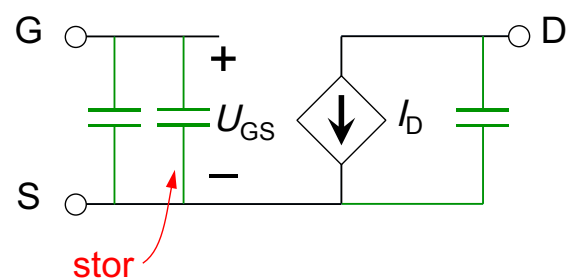
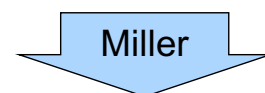
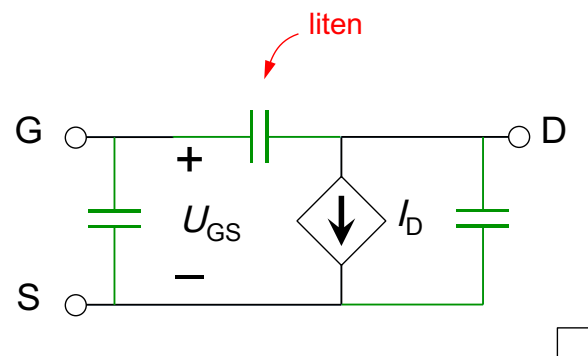
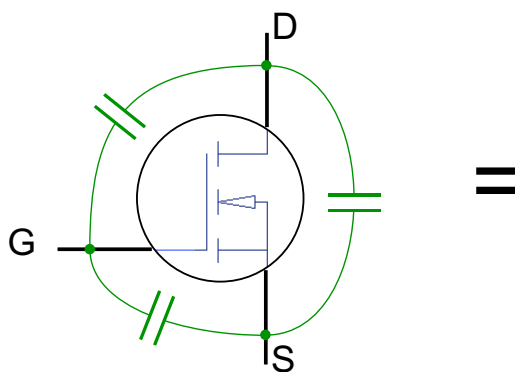
Svar: $\frac{Z}{1+A}$

Ekvivalent schema



Millerkapacitanser

Det finns alltid små parasitkapacitanser:



- En **liten** kapacitans mellan förstärkarens in- och utgång blir en **stor** ekvivalent kapacitans på ingången
- Denna kapacitans bestämmer ofta förstärkarens övre gränsfrekvens

Veckosammanfattning

Efter kursvecka 5 behärskar ni...

- Fälteffekttransistor
 - Ekvivalent schema
 - Strykt och mättat område
 - n-kanal och p-kanal
 - Förstärkare och inverterare i CMOS-teknik
- Ljud och decibel
 - Ljudtrycksnivå i dB SPL
 - dBA-viktning
 - Samband mellan dB och effekt- eller spänningskvot
 - dBm, dBW och dBV
 - Den Magiska Decibel-regeln 

- Hörlurar och mikrofoner
 - Känslighet
 - Inkoppling av elektretmikrofon
- In- och utimpedans
 - Definitioner
 - Problem vid ihopkoppling
- Effektförstärkare
 - Typer
 - Analys av klass B
 - Övergångsdistortion
- Bandbegränsingar i elektronik
 - Gränsfrekvenser och bandbredd
 - Parasitkapacitanser
 - Millereffekten

Läs & lös

Läs:

- Molin s 23–32 (förstärkarprinciper)
- Molin s 45–51 och 54–55 (signalförstärkare)
- Molin s 400 och 408–415 (effektförstärkare)
- Molin s 73–74 (in- och utresistans, slew rate)
- Molin s 322–323, 246 (Millereffekten)

Lös:

- Inlämningsuppgift 3
- Förberedelseuppgifter till lab 5