

Föreläsning 10

FET och audioteknik

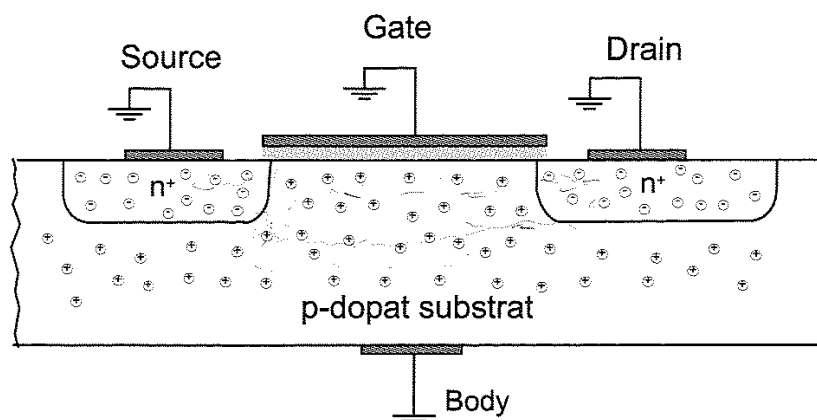
Erik Agrell 2017-09-26

Innehåll:

1. Fälteffekttransistorer
2. Ljud och decibel
3. Hörlurar och mikrofoner

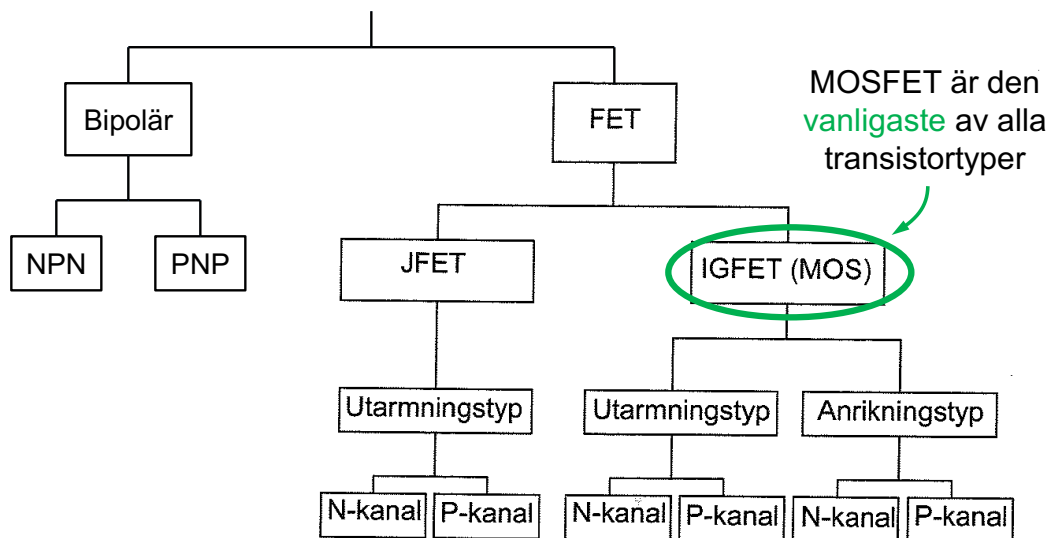
Bilder av Bengt Molin och Erik Agrell

1. Fälteffekttransistorer



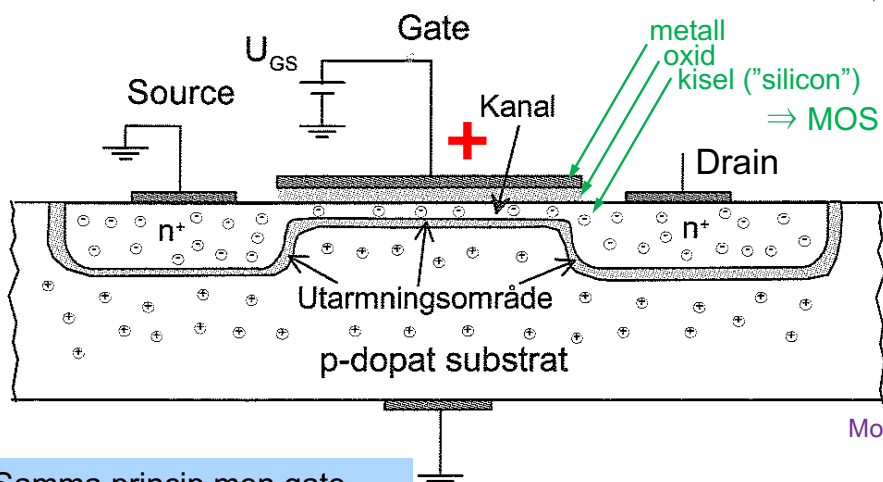
[Molin s 196]

Typer av transistorer



Från Molin s 194, utvidgad

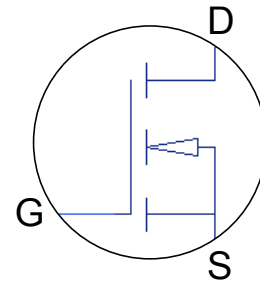
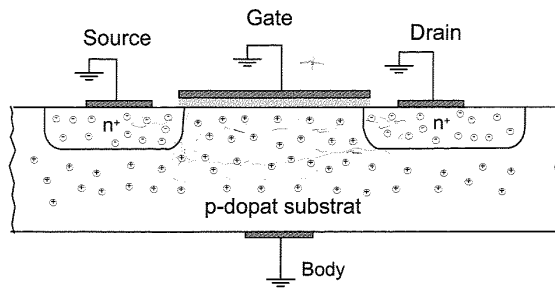
En spänning mellan gate och substrat skapar en **n-dopad kanal** mellan drain och source (n-kanal!)



Molin s 196

JFET: Samma princip men gate-substrat består av en backspänd P-N-övergång i stället för oxidskiktet

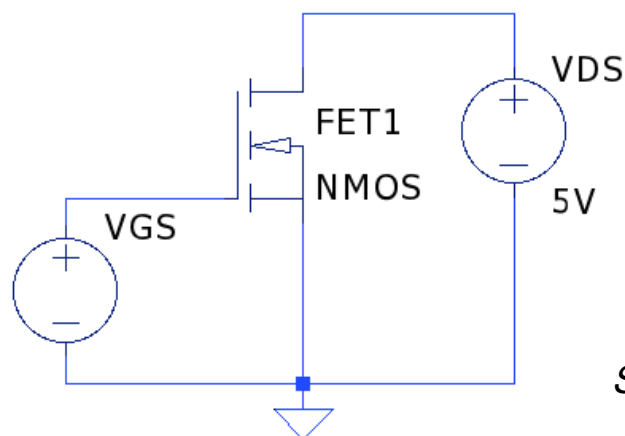
P-kanal: byt plats på n- och p-dopning



- Koppla ihop substrat och source
- Välj spänningar U_{GS} och U_{DS}
- Mät/beräkna I_D
- Men I_G då?

Gaten är isolerad (vid måttliga frekvenser)

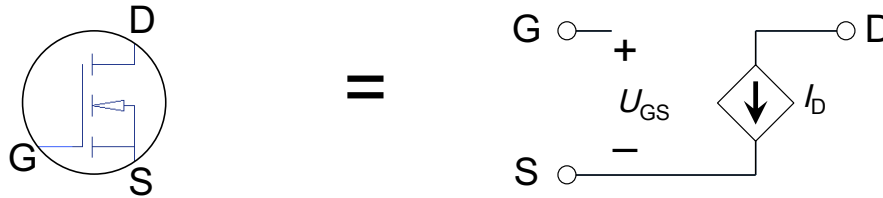
$$\Rightarrow I_G = 0$$




Spice demo

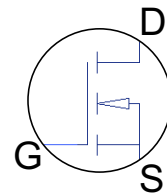
Slutsats: I_D är oberoende av V_{DS} , så länge som V_{DS} är tillräckligt hög

Ekvivalent schema



En MOSFET är en **spänningsstyrd strömkälla**

Arbetsområden och ekvationer (n-kanal)

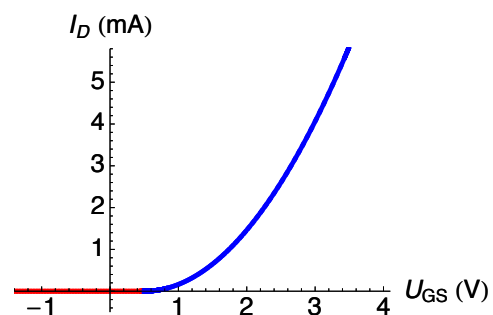


1. $U_{GS} \leq U_T$, "strykt":

$$I_D = 0$$

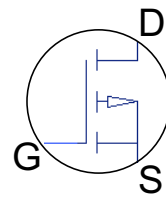
2. $0 \leq U_{GS} - U_T \leq U_{DS}$, "mättad":

$$I_D = \beta(U_{GS} - U_T)^2$$



- Förstärkarkopplingar arbetar i det **mättade** området
- Där är I_D oberoende av U_{DS}
- Det finns fler områden (det linjära och genombrottsområdet), men de är inte lika viktiga

Arbetsområden och ekvationer (p-kanal)

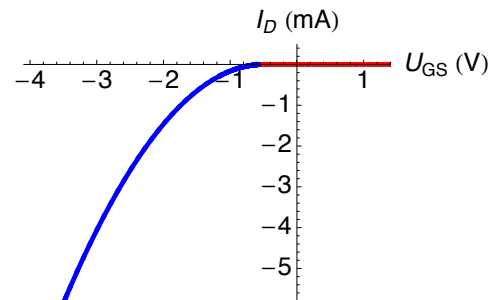


1. $-U_{GS} \leq -U_T$, "strykt":

$$I_D = 0$$

2. $0 \leq -U_{GS} + U_T \leq -U_{DS}$, "mättad":

$$-I_D = \beta(-U_{GS} + U_T)^2$$



- För p-kanal gäller samma ekvationer som för n-kanal, fast med omvända tecken på alla strömmar och spänningar

Två parametrar

Tröskelspänning U_T :

- Den spänning U_{GS} som måste överskridas för att transistoren skall leda
- Kallas även pinch-off-spänning U_P
- $U_T \geq 0$ för anrikningstyp (de flesta MOS-transistorer)
- $U_T < 0$ för utarmningstyp (alla JFET)

gäller n-kanal

Koefficienten β :

- Bestämmer förstärkningen
- Om $U_T \neq 0$ används ofta

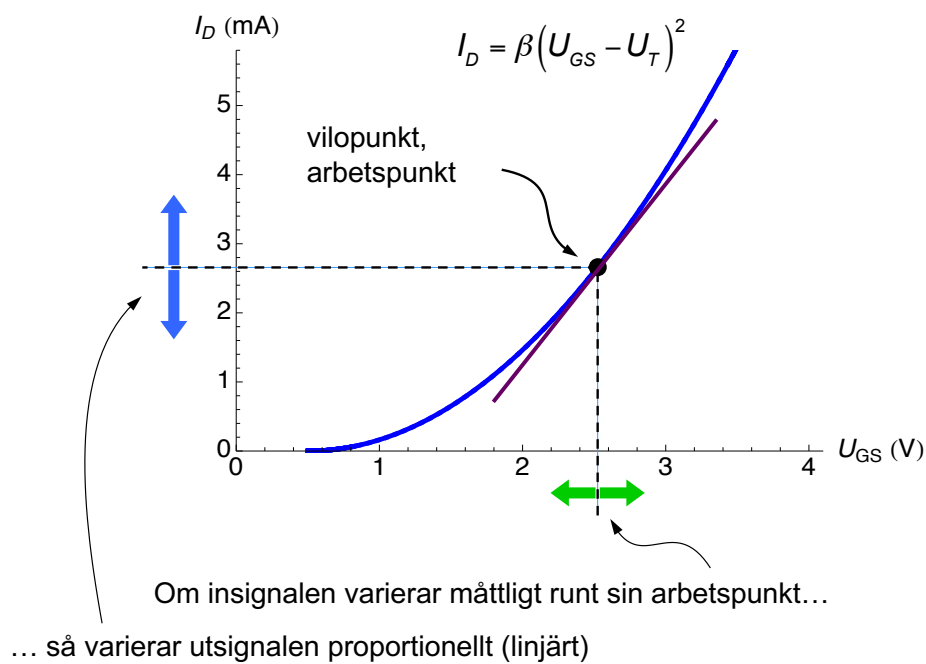
$$\beta = \frac{I_{DSS}}{U_T^2}$$

- Molin (kap. 8) använder

$$\beta = \frac{k'W}{2L}$$

där W och L är kanalens bredd resp. längd

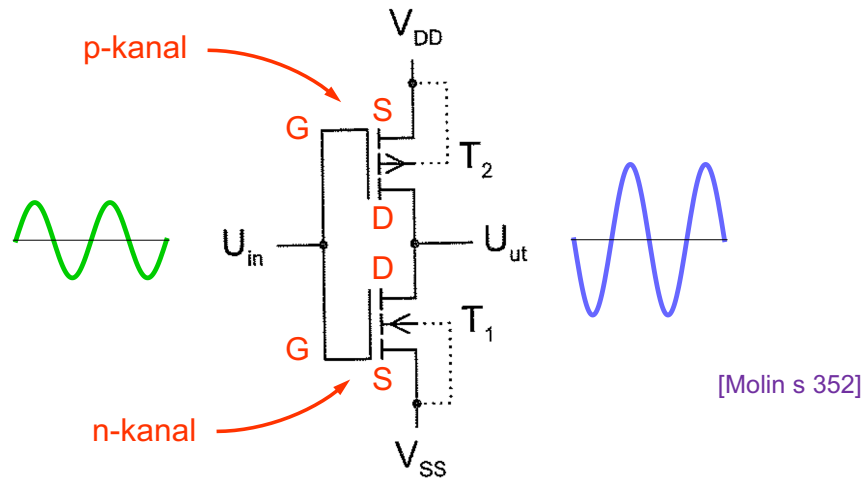
Arbetspunkt och linearisering



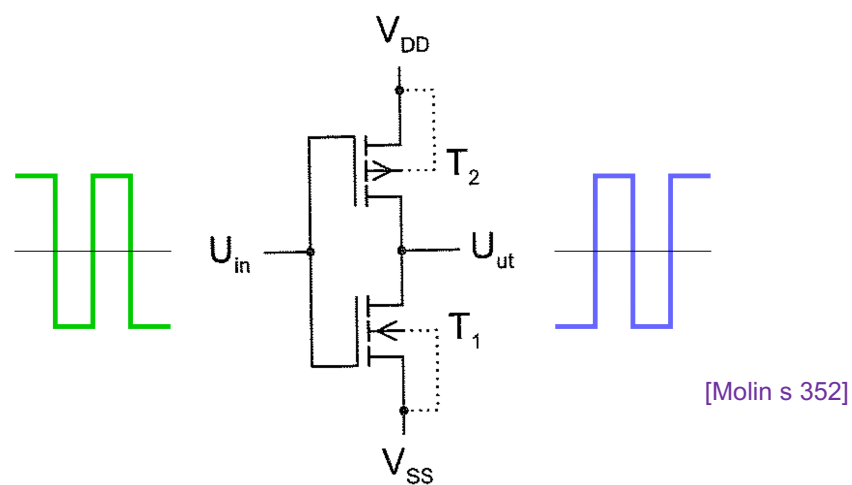
CMOS-teknik

- CMOS = complementary MOS, innebär att n-kanals och p-kanals MOSFETar kombineras
- Dominerande teknik i integrerade kretsar
- Mycket energisnål

Exempel 1: CMOS-förstärkare

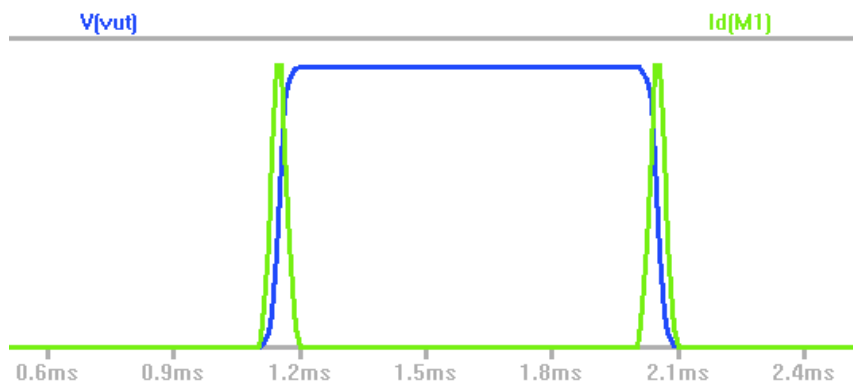


Exempel 2: CMOS-inverterare



En inverterare är en inverterande förstärkare med binär (maximalt utstyrd) insignal

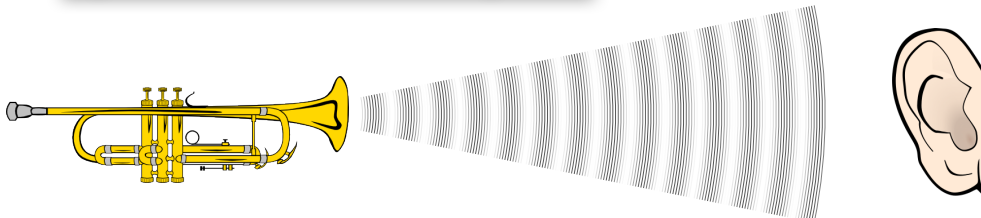
Energiförbrukning i CMOS



- CMOS-kretsar drar bara ström vid omslag
- Energiförbrukningen i processorer och minnen ökar vid belastning
- Energiförbrukningen är proportionell mot klockfrekvensen

2. Ljud och decibel

Ljud är variationer i lufttryck...



...som får trumhinnan att vibrera

Upplevd ljudnivå

Ljudtrycksnivå:

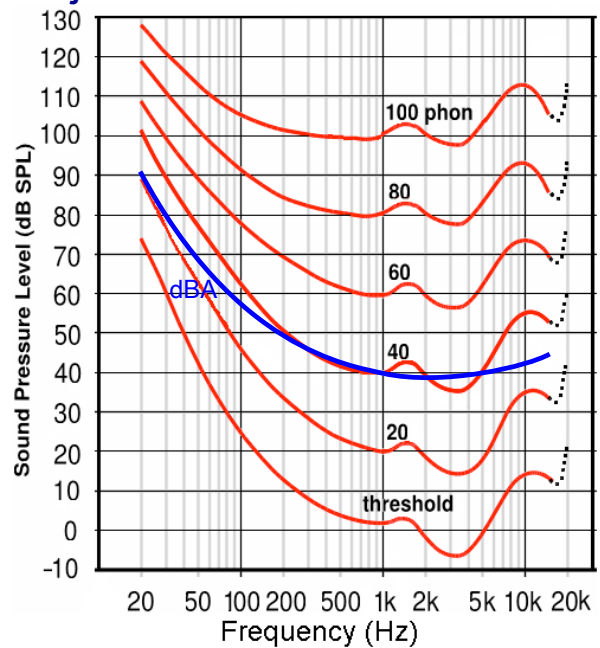
$$\text{dB SPL} = 20 \log \frac{p}{p_0}$$

där

p = ljudtryck

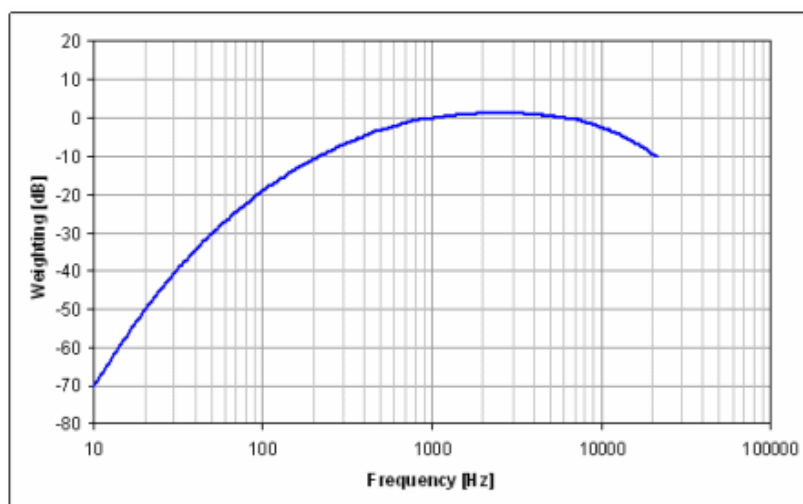
$p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

Samma ljudtrycksnivå
uppfattas olika stark
beroende på frekvensen



[diracdelta.co.uk, <http://www.sengpielaudio.com>]

Frekvensberoende viktning



[diracdelta.co.uk]

Upplevd ljudnivå (dBA) = ljudtrycksnivå (dB SPL) + viktning (dB)

Exempel: 70 dB SPL vid 100 Hz upplevs som 50 dBA

Noise Source	Level (dBA)
Jet takeoff from 25m (possible eardrum damage)	150
Aircraft carrier flight deck	140
Jet take-off from 100m	130
Rock band	110–120
Jet fly-by at 300m, car horn at 1m	100–110
Petrol grass mower - operator	90–100
Food blender - operator, busy urban street	80–90
Accelerating vehicle from 50kmhr-1 at 7.5m	70–80
Vacuum cleaner - operator	60–70
Light traffic at 30m	50–60
Quiet residential area - daytime	40–50
Quiet residential area - nighttime	30–40
Wilderness, rustling leaves, whisper	20–30
Breathing	10
Threshold of human hearing	0

[diracdelta.co.uk]

Socialstyrelsens författningssamling



Socialstyrelsen

Ansvarig utgivare: Chefsjurist Nils Blom

Socialstyrelsens allmänna råd om höga ljudnivåer;

beslutade den 15 mars 2005.

**SOSFS
2005:7 (M)**
Utkom från trycket
den 15 april 2005

Tabell 1 – Riktvärden för lokaler och platser dit barn under 13 års ålder inte har tillträde

Maximalt ljud	L_{AFmax}^1	115 dB
Ekvivalent ljud	L_{AeqT}^2	100 dB

1 Den högsta A-vägda ljudnivån.

2 Den A-vägda ekvivalenta ljudnivån under en viss tidsperiod (T).

Tabell 2 – Riktvärden för lokaler och platser dit både barn och vuxna har tillträde

Maximalt ljud	L_{AFmax}^1	110 dB
Ekvivalent ljud	L_{AeqT}^2	97 dB ³

1 Den högsta A-vägda ljudnivån.

2 Den A-vägda ekvivalenta ljudnivån under en viss tidsperiod (T).

3 Särskild hänsyn bör tas i verksamheter som är särskilt riktade till barn, s.k. knattediskotek eller liknande. Där bör ekvivalenta A-vägda ljudnivåer under 90 dB alltid eftersträvas.

Fler decibelstorheter

Definition

Effektkvot $\text{dB} = 10 \log \frac{P_1}{P_0}$

Härledda storheter

Energikvot $\text{dB} = 10 \log \frac{E_1}{E_0}$

Spänningskvot $\text{dB} = 20 \log \frac{U_1}{U_0}$

Strömkvot $\text{dB} = 20 \log \frac{I_1}{I_0}$

Speciella referensnivåer

Effekt $\text{dBW} = 10 \log \frac{P}{1\text{W}}$

Effekt $\text{dBm} = 10 \log \frac{P}{1\text{mW}}$

Spänning $\text{dBV} = 20 \log \frac{U_{\text{eff}}}{1\text{V}}$ **Obs!**

Ljudtryck $\text{dB SPL} = 20 \log \frac{p}{20\mu\text{Pa}}$

Den magiska dB-regeln

1 dB förändring någonstans
 $\Rightarrow$
 1 dB (dBW, dBm, dBV, dB SPL, dBA,...) förändring överallt



... i alla linjära system

Två vanliga dB-misstag

- Decibelvärden skall aldrig multipliceras eller divideras!
- Det finns inget som heter "effekt-dB" eller "spännings-dB". Det blir samma dB oavsett om man beräknar från effekt eller spänning!

3. Hörlurar och mikrofoner

Hörlurar:

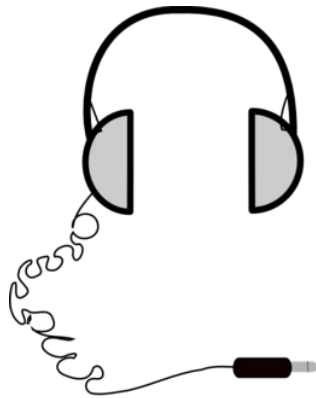
- En **hörlur** omvandlar **ström** till **ljud**
- Ljudtrycket är proportionellt mot strömmen
- I datablad anges hörlurars känslighet ofta i **dB SPL @ 1 mW** (t.ex. 100 dB SPL @ 1 mW)
- Hörlurens **impedans** är typiskt låg, några 10-tals $\Omega \Rightarrow$ relativt hög ström

Skrivs ibland dB SPL/mW, vilket är något missvisande

Exempel

(nyttigt för lab 5)

- Vilken spänning krävs för att en hörlur med impedans $32\ \Omega$ och känslighet $90\ \text{dB SPL @ } 1\ \text{mW}$ skall producera en ljudtrycksnivå på $106\ \text{dB SPL}$?



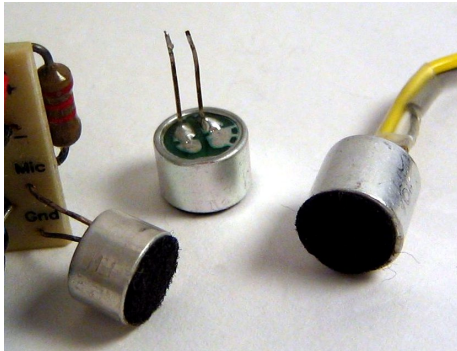
Svar: $1.13\ \text{V}$ effektivvärde ($3.20\ \text{V}_{\text{pp}}$)

Mikrofoner:

- En **mikrofon** omvandlar **ljud** till **ström**
- Strömmen är proportionellt mot ljudtrycket
- I datablad anges ofta mikrofoners känslighet i **dBV @ 1 Pa** vid en viss inimpedans (t.ex. $-39\ \text{dBV @ } 1\ \text{Pa}$ vid $2\ \text{k}\Omega$ impedans)
- Begreppet **inimpedans** syftar här inte på mikrofonen utan på kretsen som mikrofonen matar

Skrivs ibland dBV/Pa, vilket är något missvisande

Elektretmikrofon



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!

... fortsättning följer i F11...

Läs & lös

Läs:

- Molin s 193–198, 206–210, 228 och 352 om FET
- Molin s 23–26 om decibel

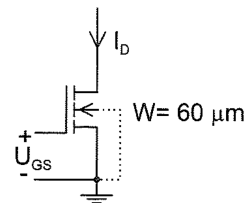
Lös:

- Molin uppg 8.2
- Molin uppg 9.2 men med $\lambda=0$
- Inlämningsuppgift 3

- 8.2 a Transistorn i vidstående koppling sitter i en koppling som ger strömmen $I_D = 0,5 \text{ mA}$. Vad blir U_{GS} ?

Antag kanallängd $L = 4 \text{ }\mu\text{m}$ och $k' = 150 \text{ }\mu\text{A/V}^2$ $U_T = 0,7 \text{ V}$

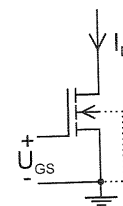
- b Samma transistor sitter nu i en koppling som ger spänningen $U_{GS} = 1,0 \text{ V}$ till transistorn. Vad blir I_D ?



- 9.1 Vidstående NMOS-transistor har $L = 4 \text{ }\mu\text{m}$ och $W = 100 \text{ }\mu\text{m}$. Beräkna g_m för följande värden på U_{GS} : $1,0 \text{ V}$, $1,2 \text{ V}$ och $1,4 \text{ V}$.

Transistorparametrar:

$$k' = 200 \text{ }\mu\text{A/V}^2 \quad U_T = 0,8 \text{ V} \quad \begin{matrix} \lambda = 0,01 \\ \lambda = 0 \end{matrix}$$



- 9.2 Använd transistorn i föregående uppgift och dimensionera R_D så att U_{DS} blir $1,5 \text{ V}$ med $U_{GS} = 1,0 \text{ V}$. $V_{DD} = 3 \text{ V}$.

Hur stor variation blir det på U_{DS} om U_{GS} varierar $\pm 10 \text{ mV}$?

