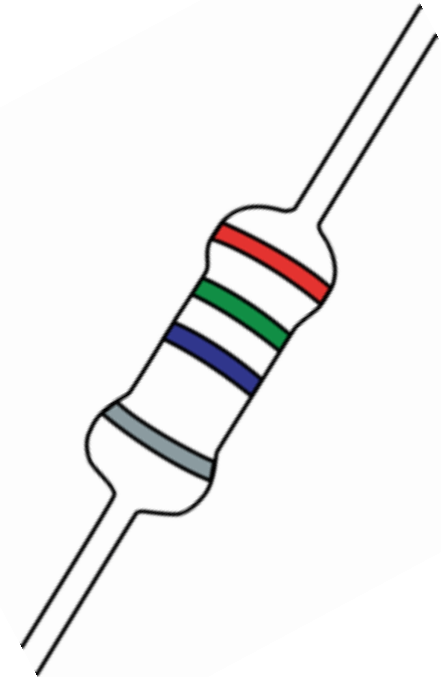


## nMOSFET - förstärkare

- Gemensam Source
- Gemensam Drain
- Differentiell förstärkare
  
- Operationsförstärkare

**Kompendium (med övningar) om transistorer & kretsar på hemsidan!**



# Lab 3, 4, 5

---

## **Laboration 3 !**

- Förberedelseuppgift och dugga
  - Ingen rapport

## **Laboration 4 – presentation nästa vecka!**

### **Demonstrera krets och ppt-presentation (ta med dator/USB)**

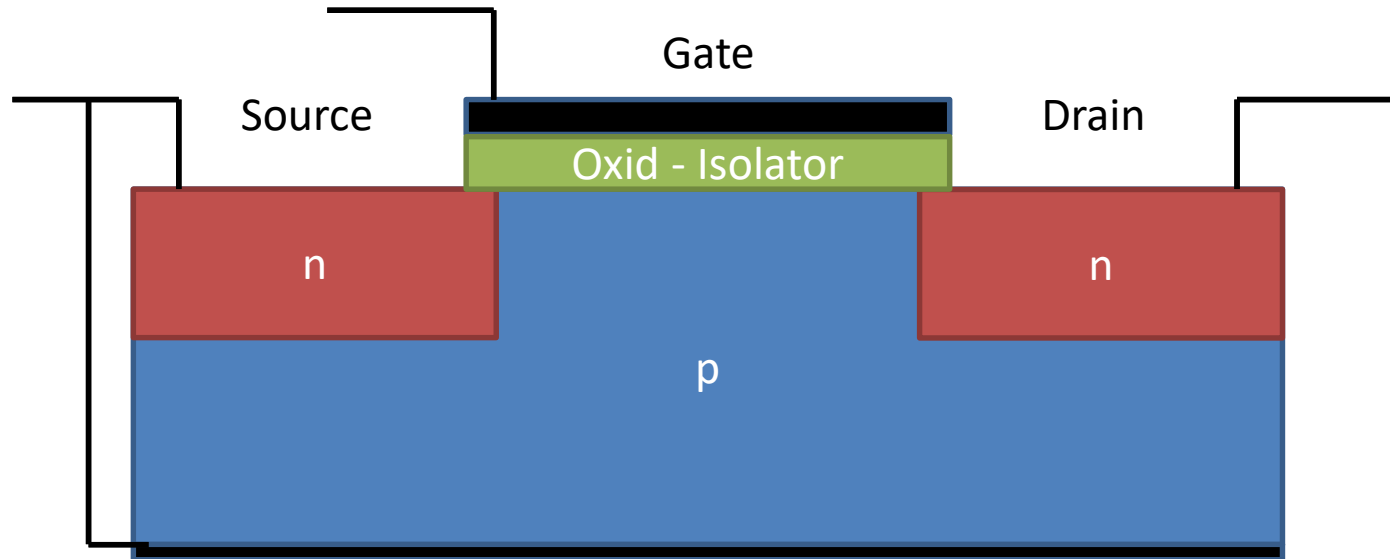
- Hjälp med miniprojektet - handledare finns tillgängliga i labben på följande tider:
  - To 5/12: 15-17 (Adam, Fredrik, Markus, Anton)
  - Mån 9/12: 8.15-10 (Adam, Fredrik Markus, Anton)

## **Laboration 5 – Sista veckan innan jul**

- Förberedelseuppgift och dugga
  - Ingen rapport

# MOSFET – Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

---

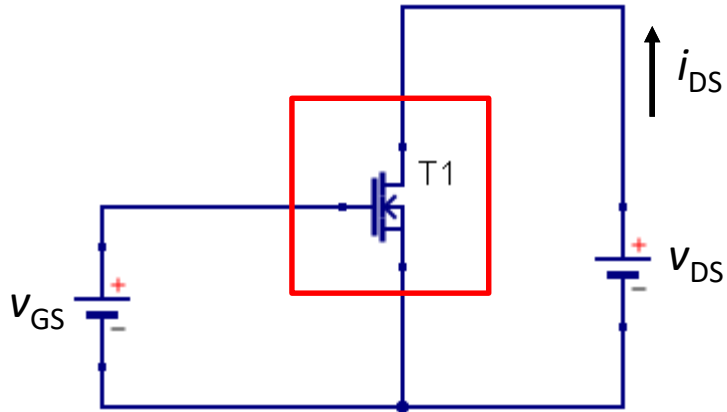


Metall-Isolator-Halvledare

Positiv spänning mellan gate och source inducerar kanal.  $V_{GS} > V_T$

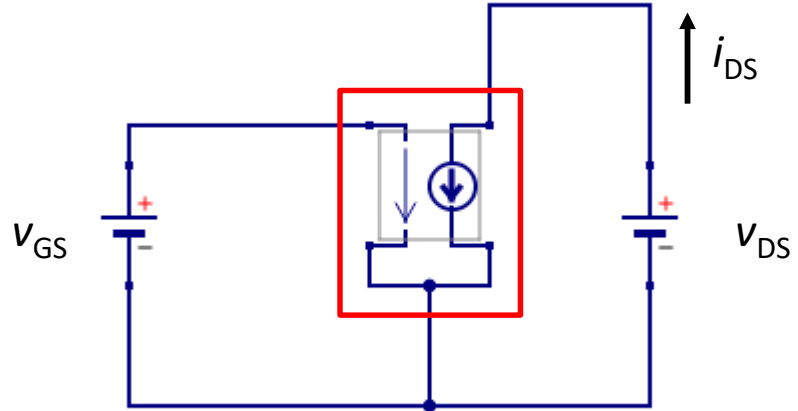
Positiv spänning mellan drain och source ger upphov till en ström  $i_{DS}$

# Triod / Mättnadsområdet: $v_{DS} > v_{gs} - V_{T0}$



$$v_{DS} < v_{DS,sat}$$

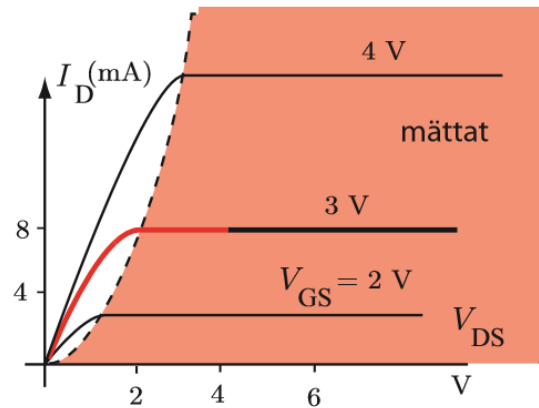
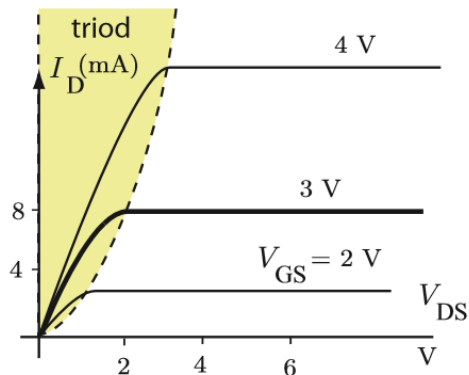
$$i_{DS} = K_{lin}(v_{GS} - v_T)v_{DS}$$



$$v_{DS} > v_{DS,sat}$$

$$i_{DS} = K_{sat}(v_{GS} - v_T)$$

Analog Elektronik



# 2N7000 – ~ 10 $\mu\text{m}$ $L_g$

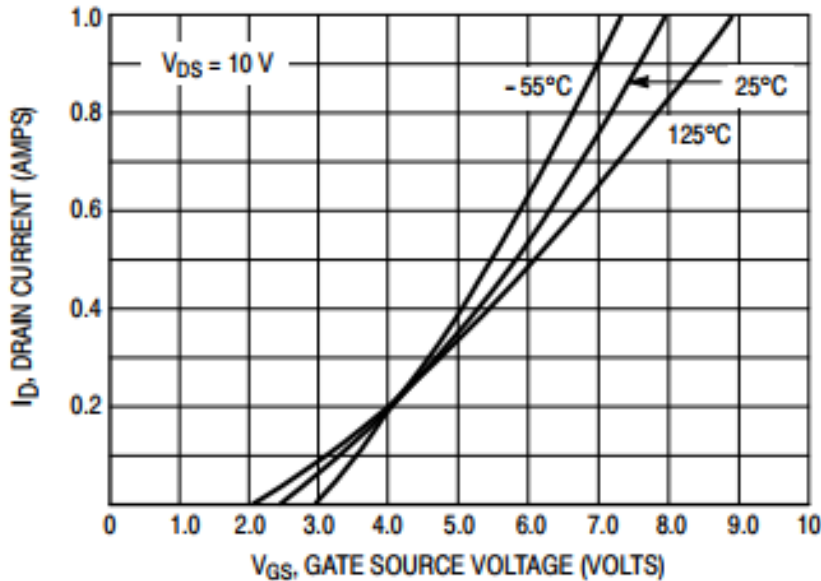


Figure 2. Transfer Characteristics

Diskreta komponenter -  $\mu\text{m}$ -långa strukturer

Höga spänningar (10-60V!)

Kvadratisk förhållande – spänning ström i mättnadsområdet

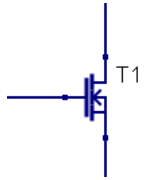
$$i_{ds} \approx K(v_{gs} - v_t)^2$$

Den kvadratiske ekvationen finns i alla standardläroböcker

Noggrann för (stora) (40 år gamla) MOSFETs

# Kretsanalys med nMOS

$$R_{on} = \frac{1}{K(v_{gs} - V_{T0})} \quad \text{Linjära området}$$



Mättnadsområdet – spänningsstyrd strömkälla!  $v_{ds} > (v_{gs} - v_{T0})$   $v_{gs} > (v_{T0})$

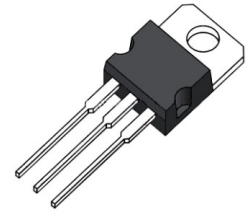
## Integrerad transistor - nm



$$i_{ds} \approx K_{sat}(v_{gs} - v_T)$$

$$i_{ds} = K_{sat}(v_{gs} - v_T)(1 + \lambda v_{ds})$$

## Diskret transistor - $\mu m$



$$i_{ds} \approx K_{diff}(v_{gs} - v_T)^2$$

$$i_{ds} = K_{diff}(v_{gs} - v_T)^2(1 + \lambda v_{ds})$$

1. ('Gissa' strypt, linjär eller) **mättnadsområdet**

2. Ersätt transistor med ekvivalent kretsmodell

$$i_{ds} \approx K_{sat}(v_{gs} - v_{T0})$$

3. Lös med nodanalys, Thevenin etc..

4. Kontrollera operationsområdet  $v_{ds} > (v_{gs} - v_{T0}), v_{gs} > v_{T0}$

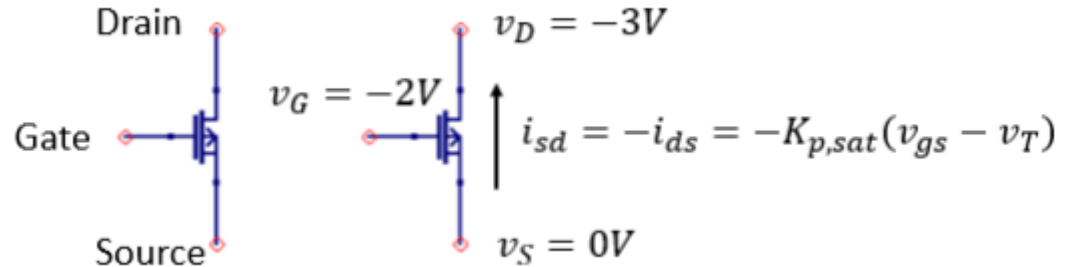
# pMOSFET

## pMOSFET

Komplimentär till nMOSFET

- $V_{T0} < 0 \text{ V}$
- $v_{ds} < 0 \text{ V}$
- $|i_{ds}|$  ökar då  $v_{gs}$  blir mer negativ (minskar!)

Då  $v_{ds} < 0 \text{ V}$  är ju också  $i_{ds} < 0 \text{ A}$ .



Ex: ( $v_T = -0.5\text{V}$ )

$$v_{ds} = v_d - v_s = -3\text{V}$$

$$v_{gs} = -2\text{V}$$

Mättnadsområde:

$$v_{ds} = -3\text{V} < v_{gs} - V_{T0} = -2.5\text{V}$$

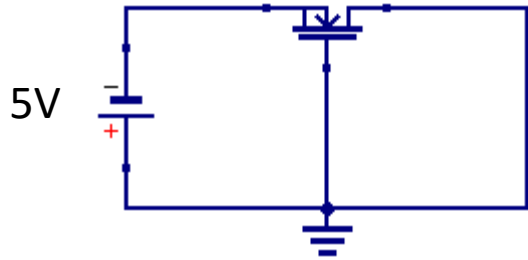
Strypd mod:  $v_{gs} > V_{T0}$

Linjära området:  $v_{gs} < V_{T0}, v_{ds} > v_{gs} - V_{T0}$

Mättnadsområdet:  $v_{gs} < V_{T0}, v_{ds} < v_{gs} - V_{T0}$   $i_{ds} \approx K_{sat}(v_{gs} - v_T)$

# MOSFET

Vad blir  $v_{GS}$  och  $v_{DS}$ ?

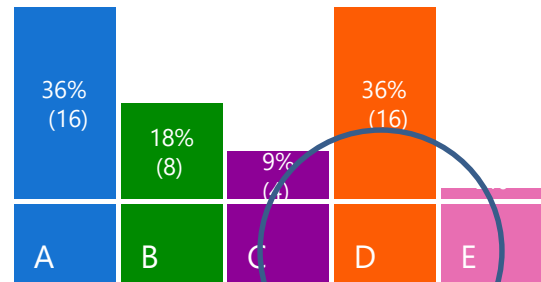


- A.  $V_{GS} = -5V, V_{DS} = 0V$
- B.  $V_{GS} = 5V, V_{DS} = 0V$
- C.  $V_{GS} = 0V, V_{DS} = 0V$
- D.  $V_{GS} = 5V, V_{DS} = 5V$
- E. ???

$$v_{gs} = v_g - v_s$$

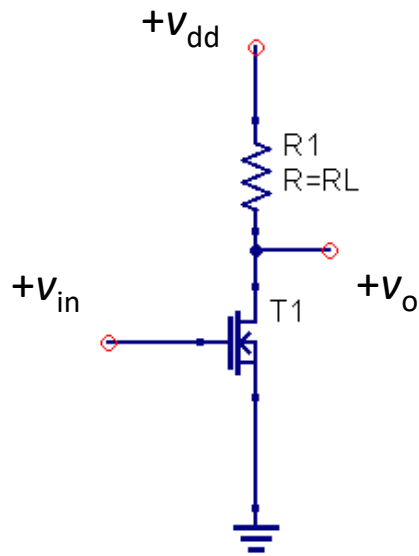
$$v_{ds} = v_d - v_s$$

Nano.participoll.com





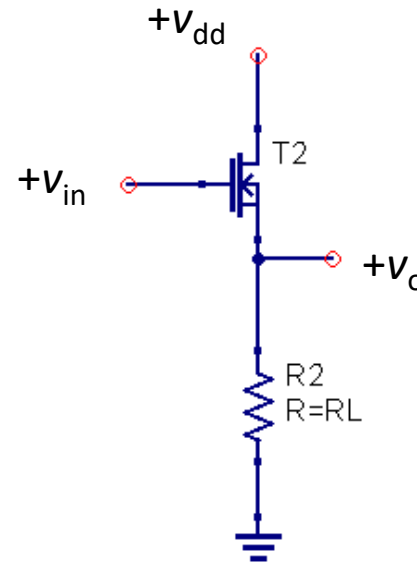
# Gemensam source / Gemensam Drain



$$v_o = v_{dd} - K_{sat}R_L(v_{in} - v_t)$$

$$R_o = R_L$$

Ger spänningsförstärkning  
**Hög utresistans**

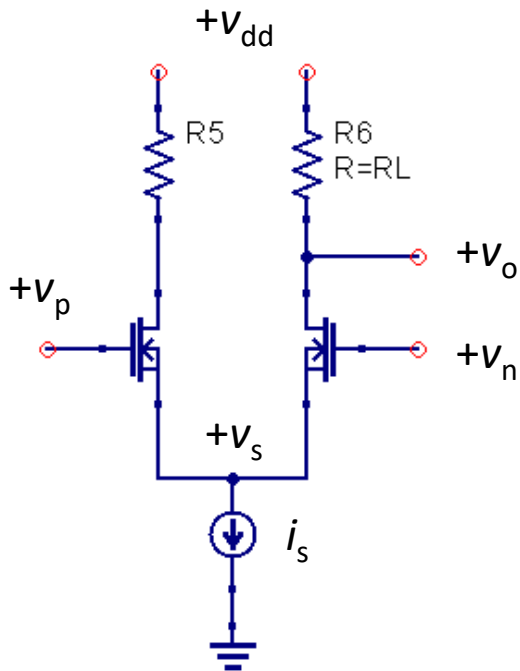


$$v_o \approx v_{in} - v_t$$

$$R_o \approx \frac{1}{K}$$

Spänningsförstärkning 1:1  
**Låg utresistans**

# Differentialsteg



Antar T1 och T1 mättade  $i_{ds} = K(v_{gs} - v_t)$

$$v_o \approx KR_L v_D + \left( v_{dd} - \frac{R_L i_s}{2} \right) \quad (v_p = v_D, v_n = -v_D)$$

$$v_o \approx \left( v_{dd} - \frac{R_L i_2}{2} \right) \quad (v_p = v_{cm}, v_n = v_{cm})$$

Förstärker bara differentiella signaler!

(Kvadratisk överföringsfunktion ger mer komplicerade uttryck – men fortfarande bara differentiell förstärkning!)

Om  $v_n = v_p = 0$  är  $v_s$  negativ!  $v_s = -v_T - \frac{i_s}{2K}$

# Strömkälla

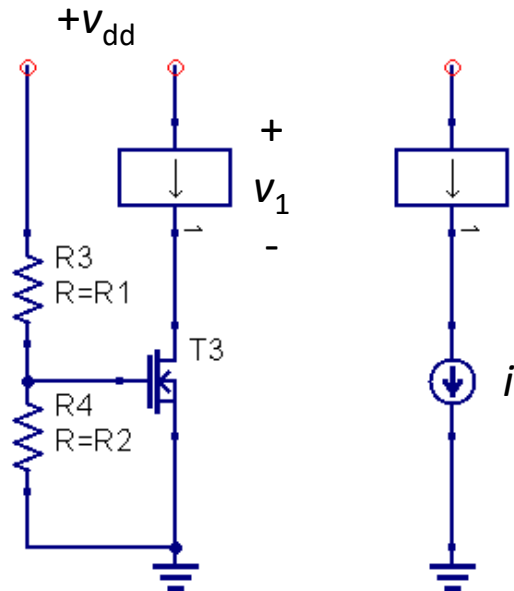
$$v_g = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_{dd}$$

$$i_S = K_{sat}(v_g - v_S - v_T)$$

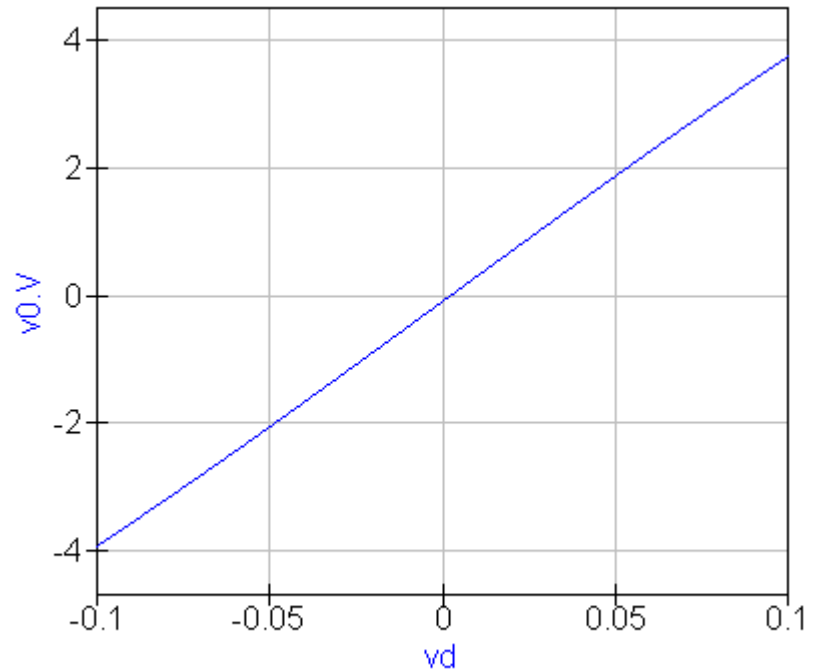
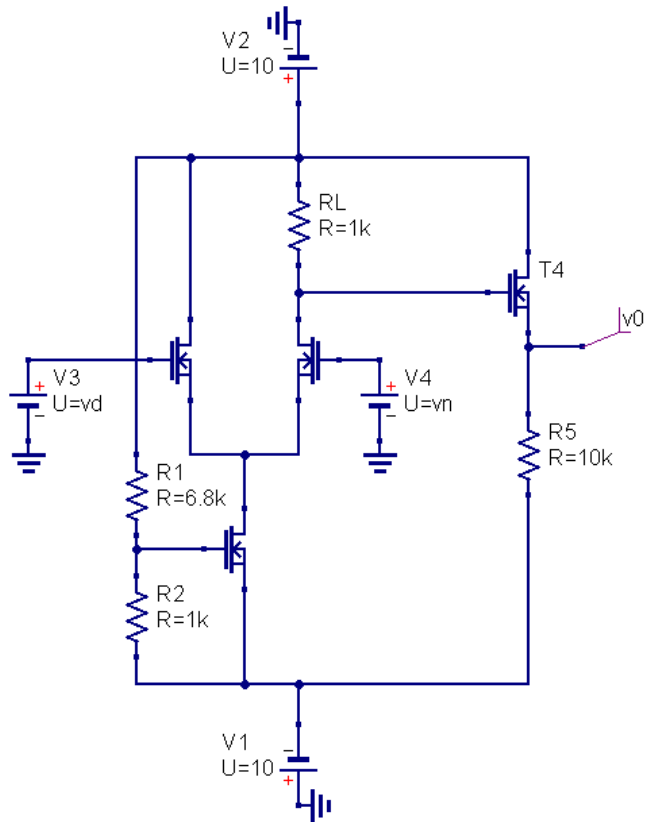
Så länge transistorn är mättad:

$$v_{dd} - v_1 - v_g > v_t$$

$v_1$  – spänningsfall över delkrets där strömmen  $i_s$  passerar.



# Väldigt Enkel op-amp - implementering



$$A_d \sim 20 \times$$

Analogelektroniken – hur gör vi en op:amp mycket bättre...

dc-simulering

DC1

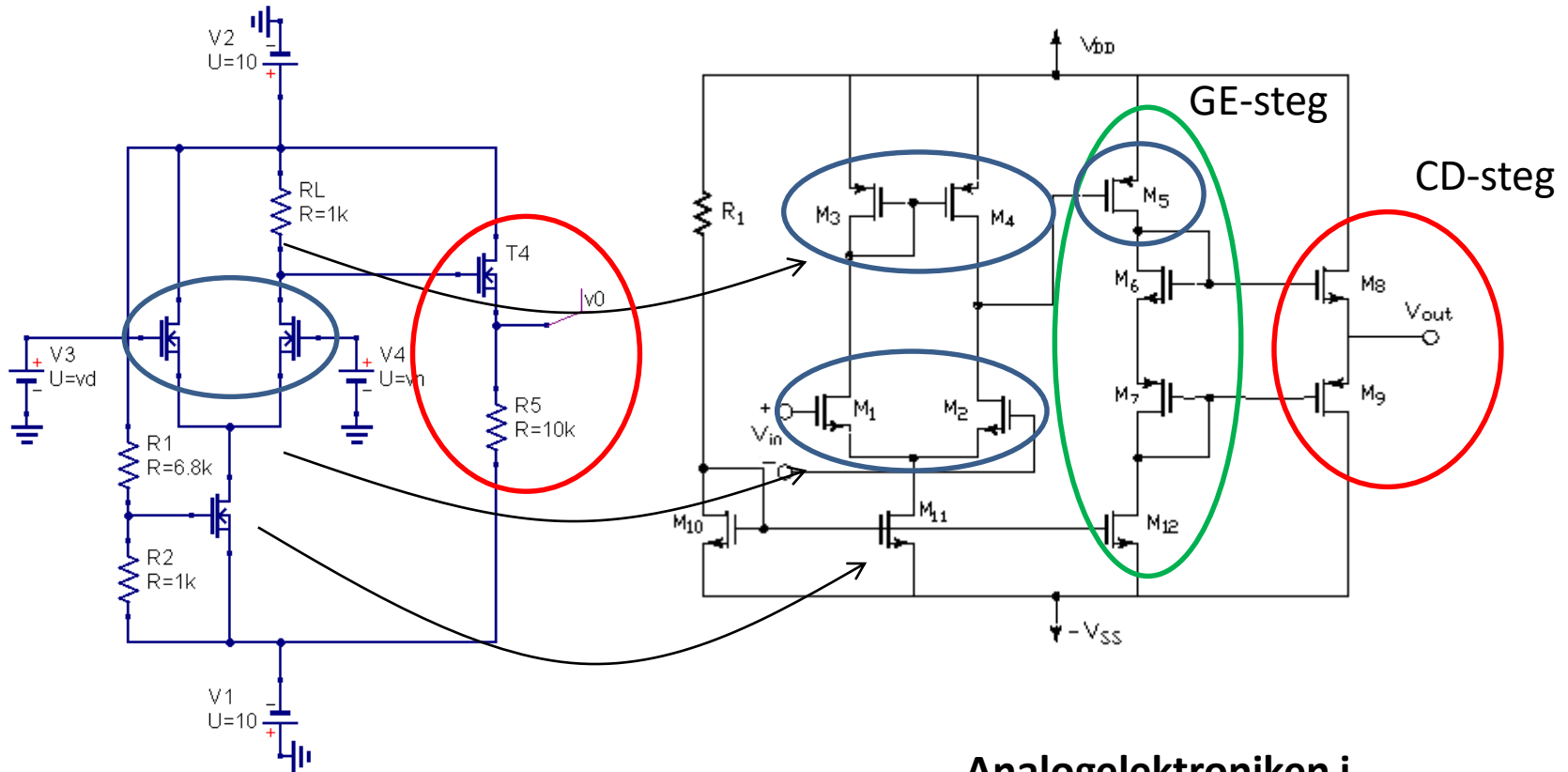
Parametersvep

SW1  
Sim=DC1  
Type=lin  
Param= $v_d$   
Start=.1  
Stop=-0.1  
Points=30

Ekvation

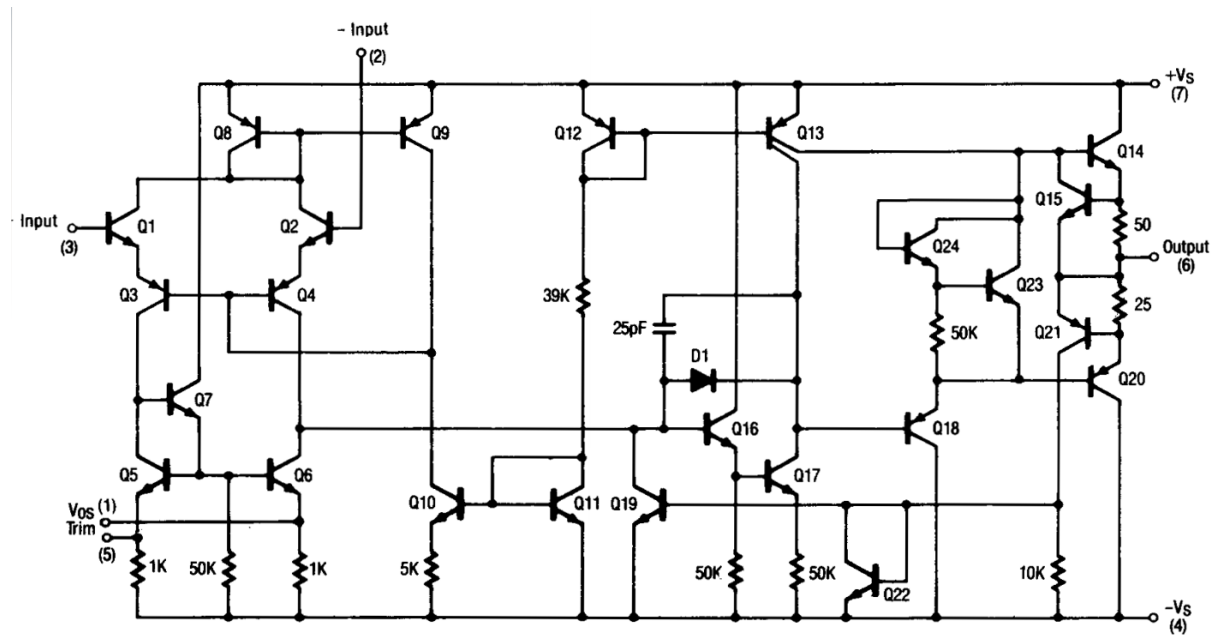
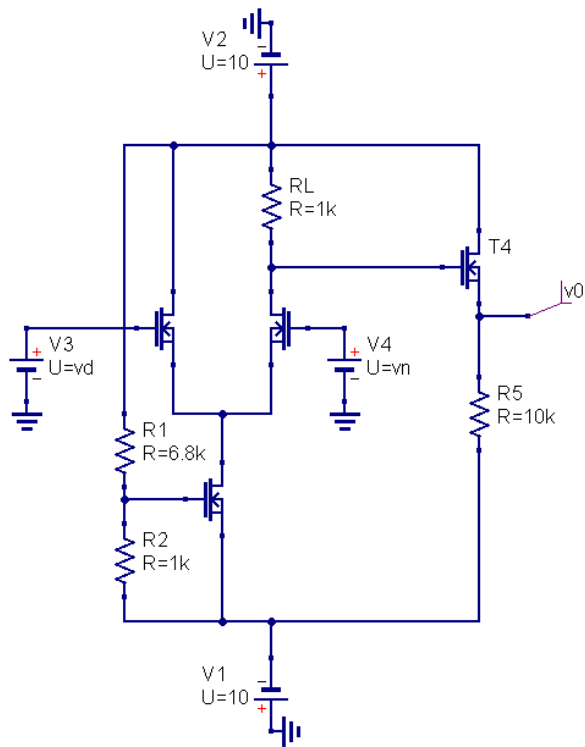
Eqn1  
 $v_n = -v_d$

# Bättre op-amp - implementering



**Analogelektroniken i  
åk 2!**

# Riktig op-amp - implementering



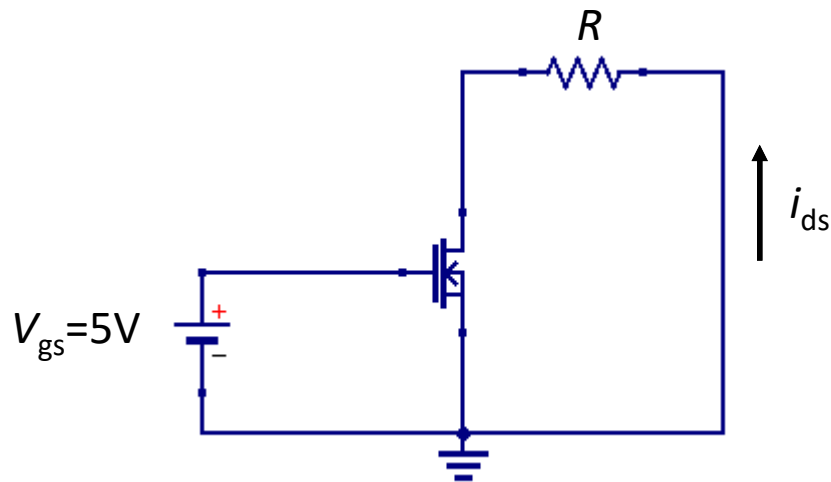
# Nästa vecka

---

- **Jag är i San Fransisco**
- **Föreläsning om Digital Elektronik av Johannes Svensson**
- **Information om projekten!**



# MOSFET



Transistorn har  $V_T = 2V$   
Vad blir strömmen  $i_{ds}$ ?

- A.  $i_{ds} = K(5 - 2)$
- B.  $i_{ds} = K(2 - 5)$
- C.  $i_{ds} = 0$
- D. Kan ej bestämmas då  $v_{ds}$  okänd.
- E. ??

Nano.participoll.com

