

# Forelesning nr.10 INF 1411

## Elektroniske systemer

Felteffekt-transistorer



# Dagens temaer

- Bipolare transistorer som brytere
- Felteffekttransistorer (FET)
- FET-baserte forsterkere
- Dagens temaer er hentet fra kapittel 16.4-16.7

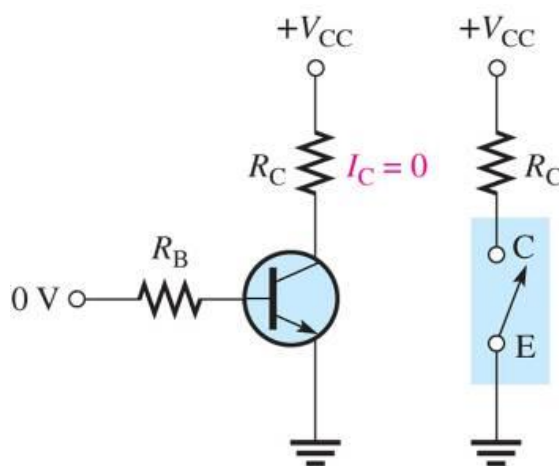
## BJT som bryter

- Når en BJT brukes som forsterker opererer den i det lineære området
- Hvis man lar en BJT enten være i cutoff eller i metning, kan den brukes som en strøm(spenning)-styrt bryter
- Strøm- eller spenningsstyrte brytere brukes i digitale kretser, bla for å lage AND-, OR- og NOT-porter
- Selv om en BJT kan brukes som elektronisk bryter, er den ikke god egnet for bruk på integrerte kretser pga relativt høyt strømforbruk

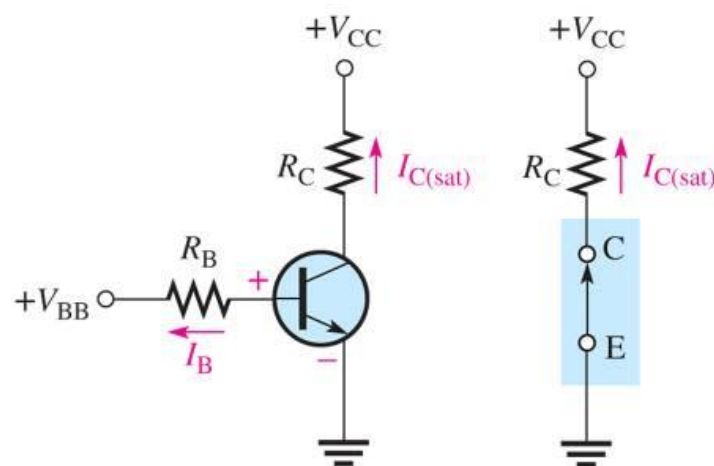
## BJT som bryter

- Når base-emitter ikke er forward-biased ( $V_B=0$ ), er transistoren i cutoff, dvs at  $V_{CE} \approx V_{CC}$
- Når base-emitter er forward-biased, vil det gå en maksimal kollektorstrøm gitt av

$$I_{C(SAT)} \cong \frac{V_{CC}}{R_C}$$



(a) Cutoff — open switch



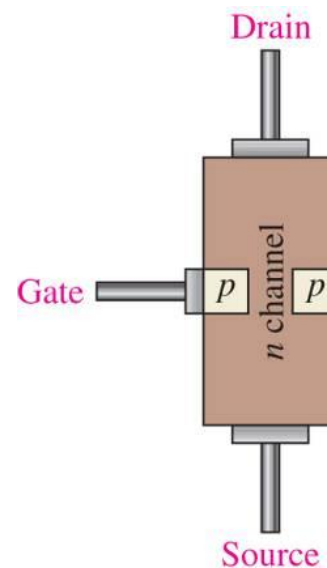
(b) Saturation — closed switch

# Felteffekttransistorer (FET)

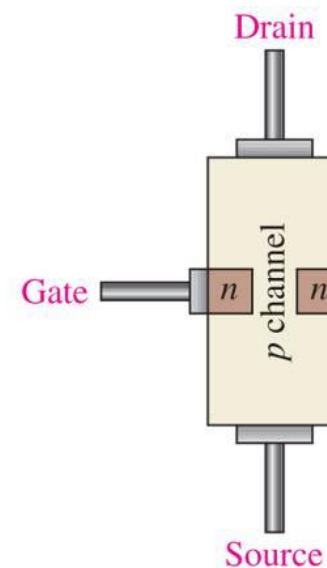
- En FET er en spenningsstyrt strømbryter
- De tre terminalene heter hhv Drain (tilsv. Collector), Gate (tilsv. Base) og Source (tilsv. Emitter)
- Av FET finnes to hovedgrupper:
  - Junction FET (JFET)
  - Metal-Oxide Semiconductor FET (MOSFET)
- MOSFET-varianter er de vanligste transistorene i digitale integrerte kretser

# JFET

- JFET har en ledende kanal med source og drain-tilkobling i hver ende av kanalen
- Strømmen i kanalen kontrolleres av spenningen på gaten
- Som for en BJT finnes to typer JFET, kalt hhv n-type eller p-type, avhengig av hva som er majoritetsbærer i kanalen
- Gatespenningen regulerer motstanden i kanalen under gaten



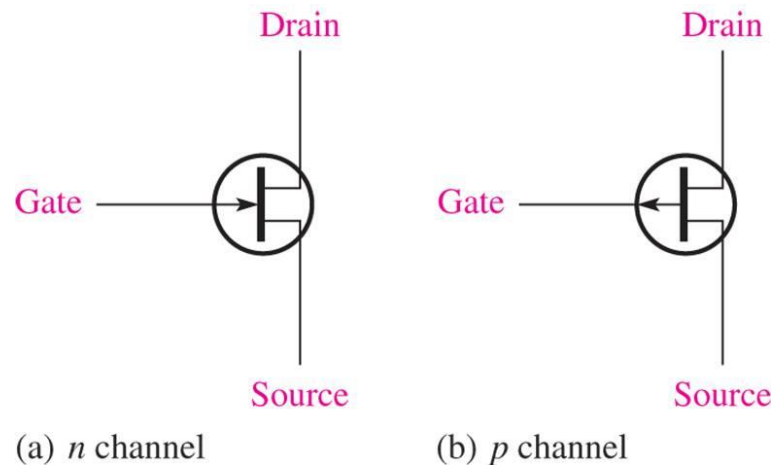
(a) *n* channel



(b) *p* channel

## JFET (forts)

- Avhengig av om kanalen er p- eller n-type, er symbolene



- For *n*-type må gate-spenningen være høyere enn source-spenningen for at JFET skal lede, mens gate-spenningen må være lavere enn drain-spenningen for at en *p*-type skal lede

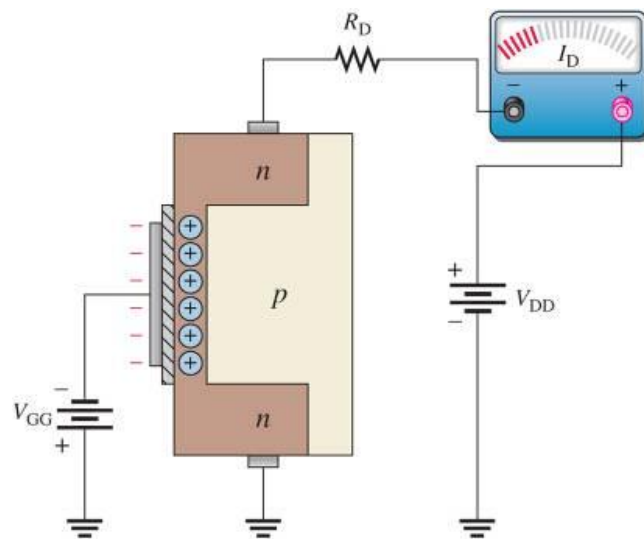
# MOSFET

- En MOSFET har ingen pn-overganger som JFET, BJT og dioder
- Gaten på en MOSFET er elektrisk isolert fra drain-source vha et tynt lag med silisiumdioksyd
- MOSFET kommer i to hovedkategorier
  - Depletion-mode
  - Enhancement-mode
- MOSFET er den aller vanligste transistorer i digitale kretser; den kan også brukes som spenningskontrollert motstand eller som kondensator, i f.eks hukommelsesceller (RAM)

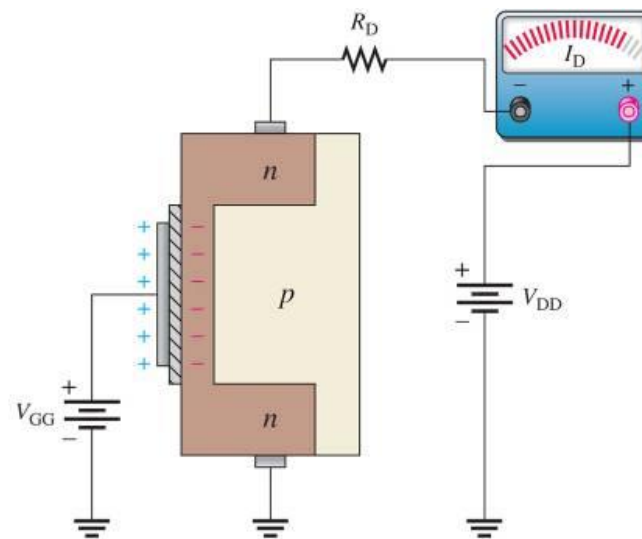


# Depletion(D)-MOSFET

- En D-MOSFET har en fysisk kanal under gaten
- Avhengig av gate-spenningen vil majoritetsbærerne enten blokkeres (depletion mode) eller kunne passere regionen (enhancement mode) under gaten



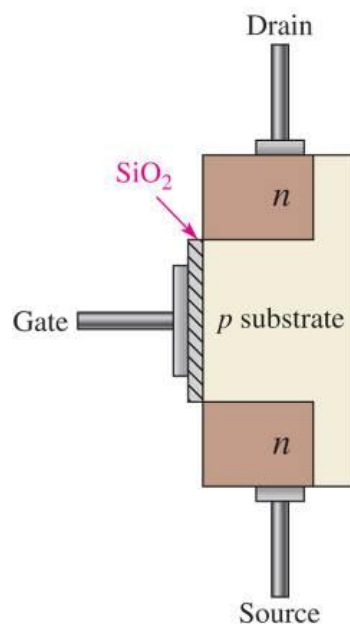
(a) Depletion mode;  $V_{GS}$  negative and less than  $V_{GS(off)}$



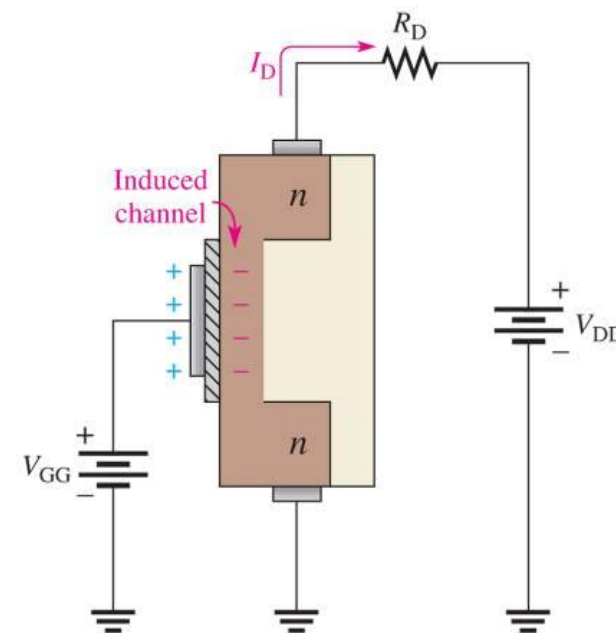
(b) Enhancement mode;  $V_{GS}$  positive

## Enhancement(E) MOSFET

- En E-MOSFET har ingen fysisk kanal med majoritetsbærere under gaten
- Avhengig av gate-spenningen vil det dannes en n-kanal gjennom p-substratet
- Gate-spenningen må over et visst nivå i forhold til source-spenningen for at det skal kunne dannes en kanal



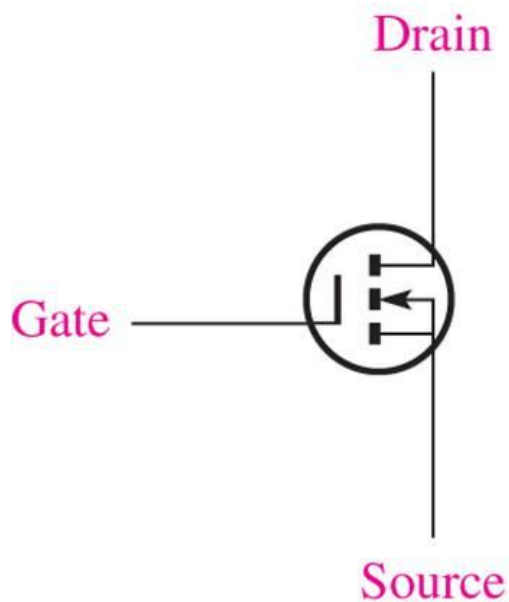
(a) Basic construction



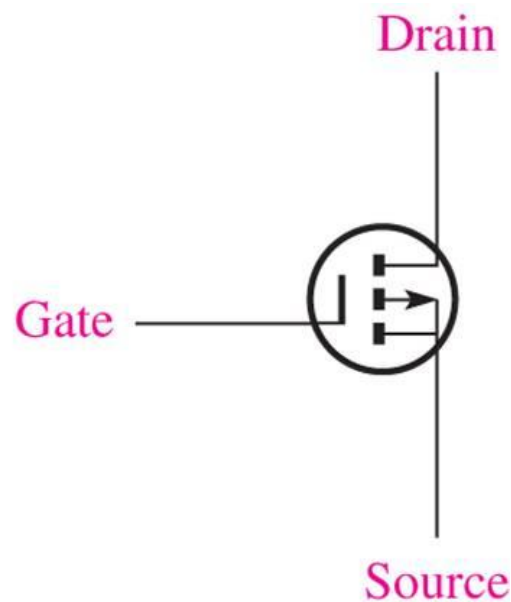
(b) Induced channel ( $V_{GS} > V_{GS(th)}$ )

## Enhancement(E) MOSFET (forts)

- En av de største fordelene med E-MOSFET er at det går svært lite strøm når den er i cutoff og at det går nesten ingen strøm gjennom gaten uansett operasjonsområde ( $\sim \text{pA}$ )



(a) *n* channel



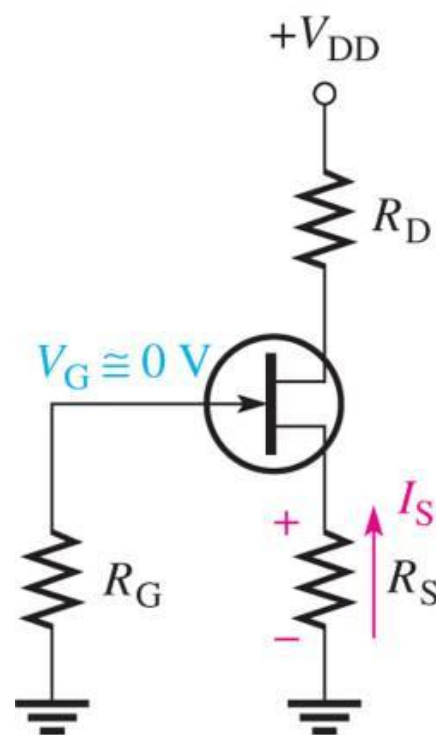
(b) *p* channel

## Spørsmål

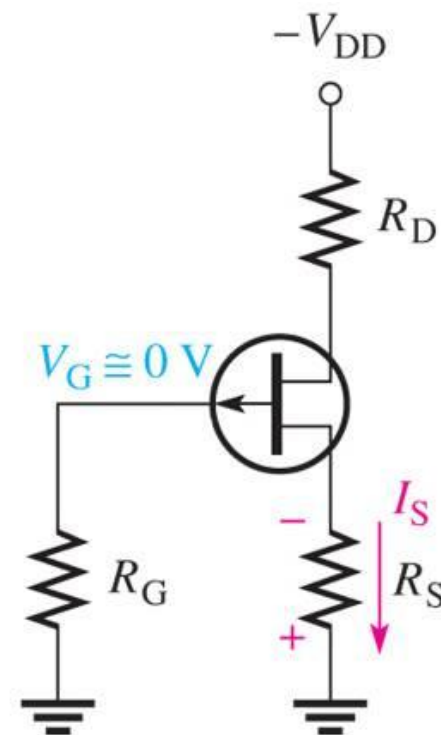
- Hva er forskjellen mellom en JFET og en BJT?
- Hva er forskjellen mellom en D-MOSFET og en E-MOSFET
- I hvilke to modi opererer en BJT når den brukes som en bryter?
- Hva er hovedanvendelsesområdet til en MOSFET?
- Hvilke andre kretselementer kan en E-MOSFET brukes til?
- Hvor mye strøm går inn gjennom gaten på en E-MOSFET?

## JFET biasing

- En JFET kan enklest gis bias via en liten motstand  $R_S$  i serie med source og en stor motstand  $R_G$  fra gate til jord
- Spenningsfallet over source-motstanden gjør at gate-source overgangen er reverse-biased



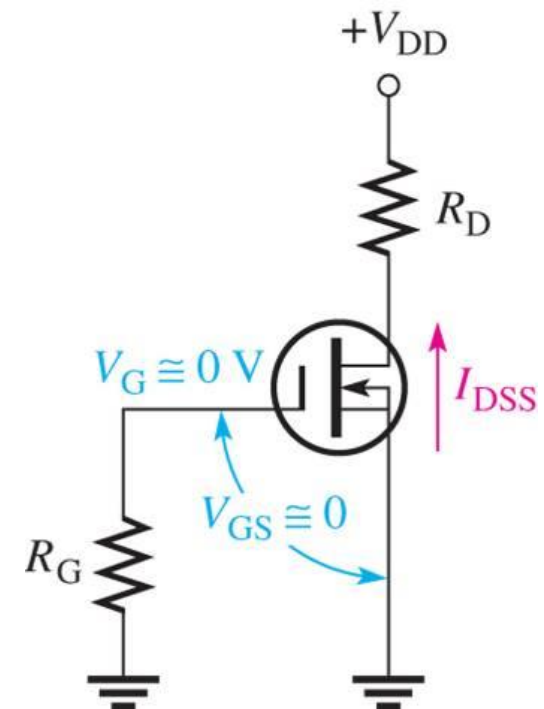
(a) *n* channel



(b) *p* channel

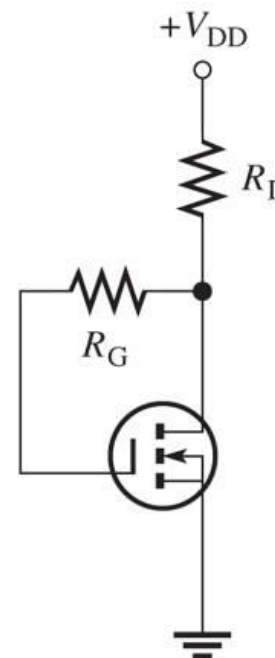
## D-MOSFET biasing

- En D-MOSFET kan fungere både i depletion og enhanced mode, dvs at gate-source kan være både forover og revers-biased
- Enkleste bias-metode kalles zero-bias: Source kobles direkte til jord, mens gate kobles til jord via en stor motstand

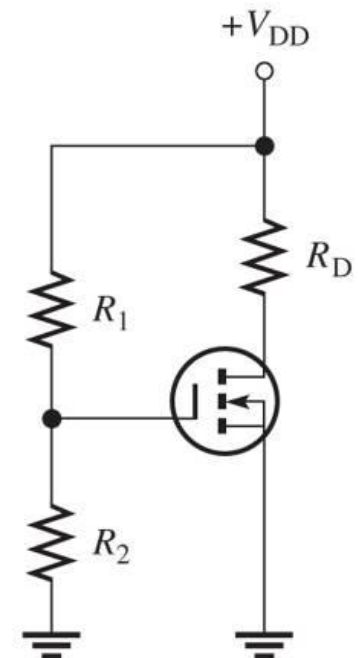


## E-MOSFET biasing

- En E-MOSFET må ha  $V_{GS}$  større enn en terskelspenning  $V_{GS(th)}$
- E-MOSFET kan forsynes med bias på samme måte som en BJT, dvs via en spennings-deler, eller via drain feedback



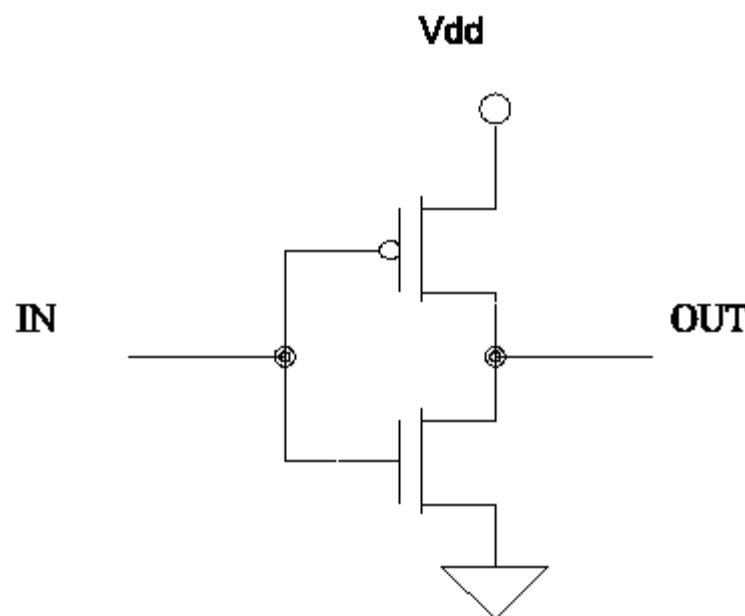
(a) Drain-feedback bias



(b) Voltage-divider bias

# CMOS

- CMOS er en spesiell type MOSFET hvor man produserer både p- og n-kanaltype på samme krets
- CMOS er svært utbredt i digitale kretser bla fordi man får høy transistor tetthet kombinert med lavt effektforbruk, og fordi man kan lage noe nær ideelle svitsjer

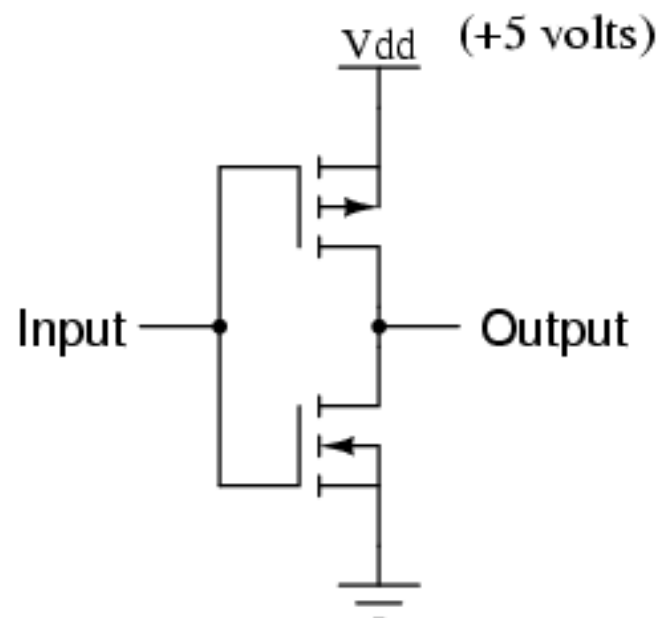




## Digitale porter: inverter

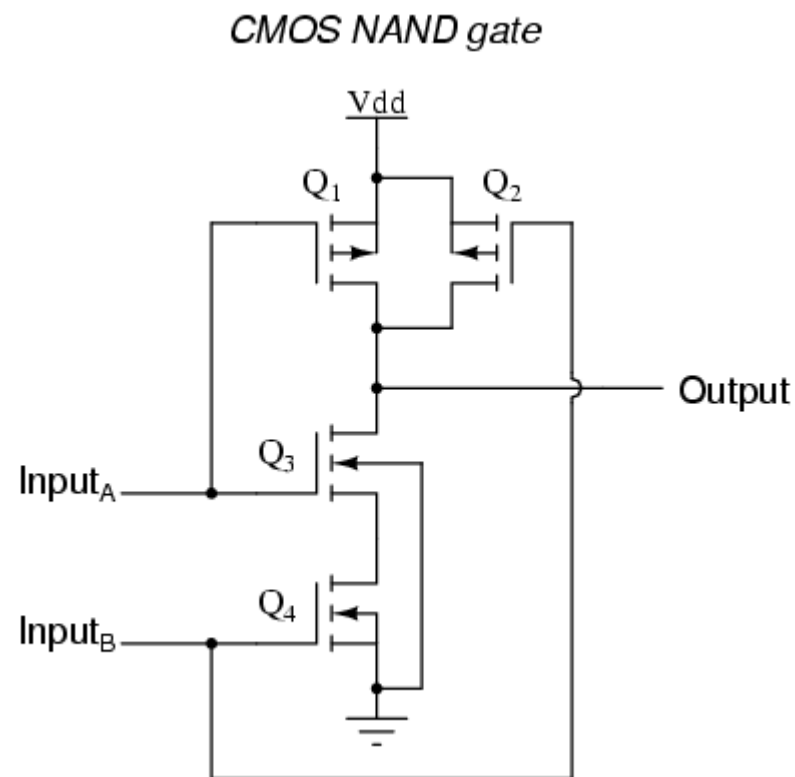
- En inverter tar som input et signal som enten er lavt (0v) eller høyt (5v) og produserer et utsignal som er det inverterte av innsignalet

*Inverter circuit using IGFETs*



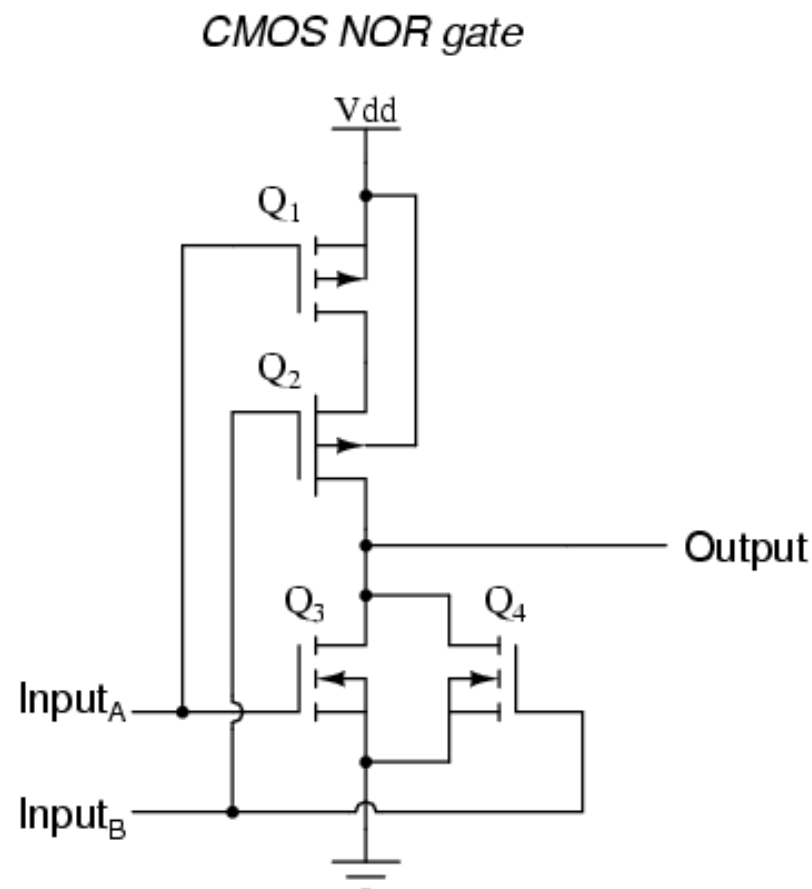
## Digitale porter: NAND-port

- En NAND-port utfører en logisk NAND-operasjon mellom to binære inputsignal (dvs signal som har kun to diskrete signalnivåer)



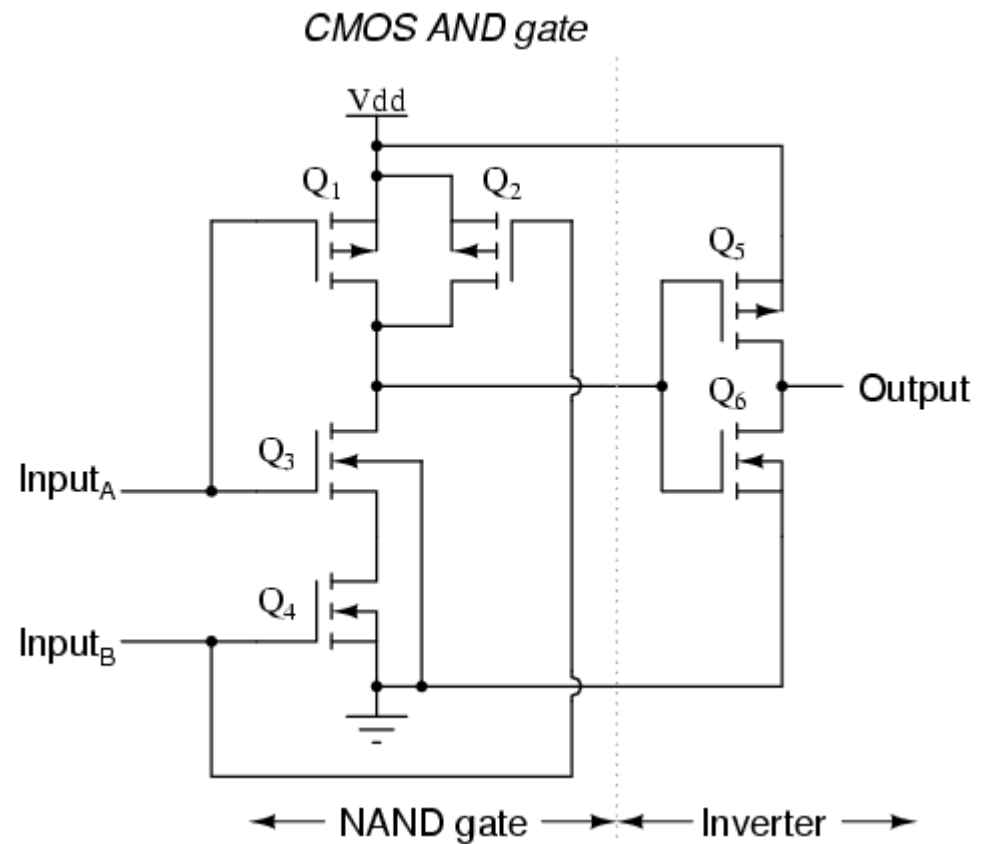
## Digitale porter: NOR-port

- En NOR-port utfører en logisk NOR-operasjon mellom to binære inputsignal (dvs signal som har kun to diskrete signalnivåer)



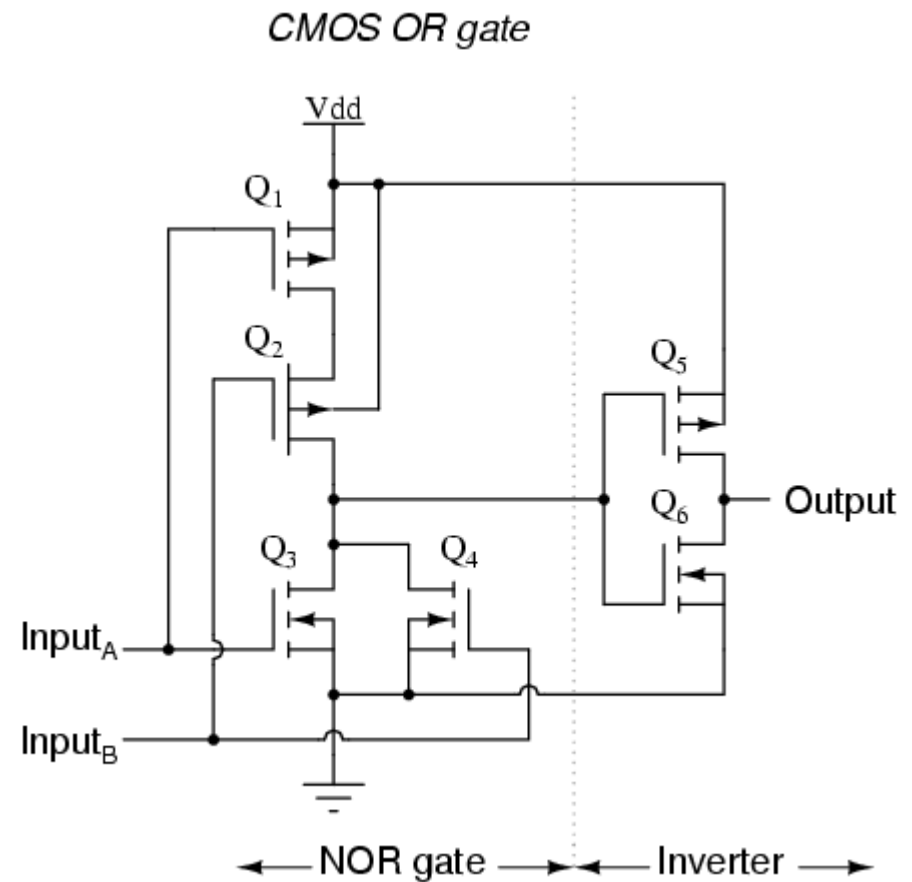
## Digitale porter: AND-port

- En AND-port konstrueres vha en NAND-port og en inverter



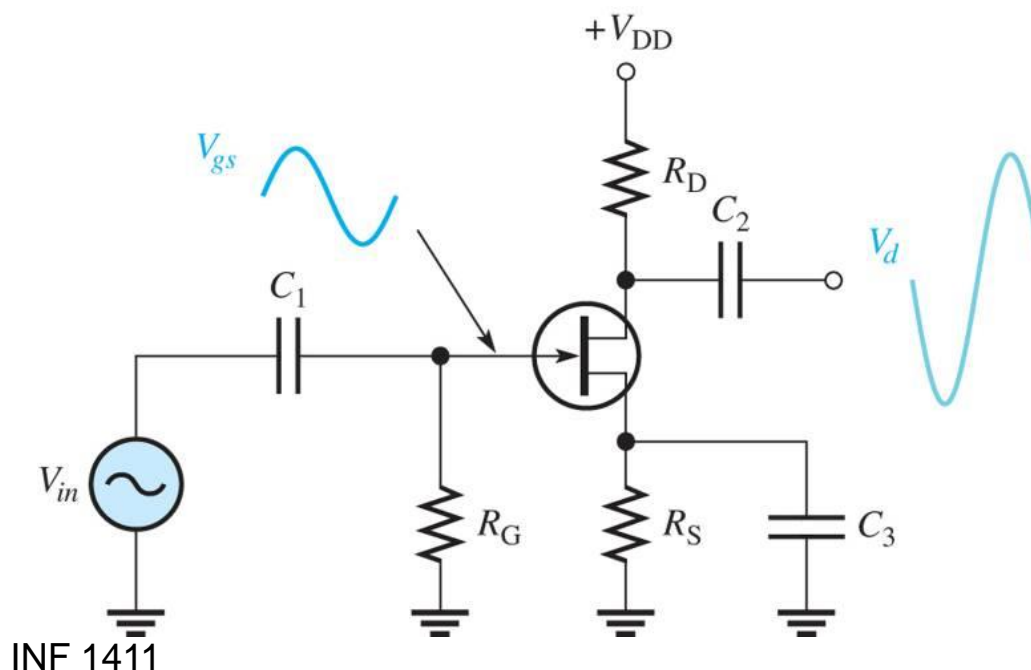
## Digitale porter: OR-port

- En OR-port konstrueres vha en NOR-port og en inverter



## JFET-basert common-source forsterker

- FET-baserte forsterkere er spenningsstyrte og har verken så stor forsterkning eller er så lineære som BJT-forsterkere
- Den største fordelen med FET-forsterkere er høy inngangs-impedans
- Input-resistansen er avhenger av bias-motstanden(e)
- $R_G$  er høyere enn for BJT-forsterkere siden det nesten ikke går strøm inn gjennom gaten



# Transkonduktans

- En viktig parameter for en FET er *transkonduktans*

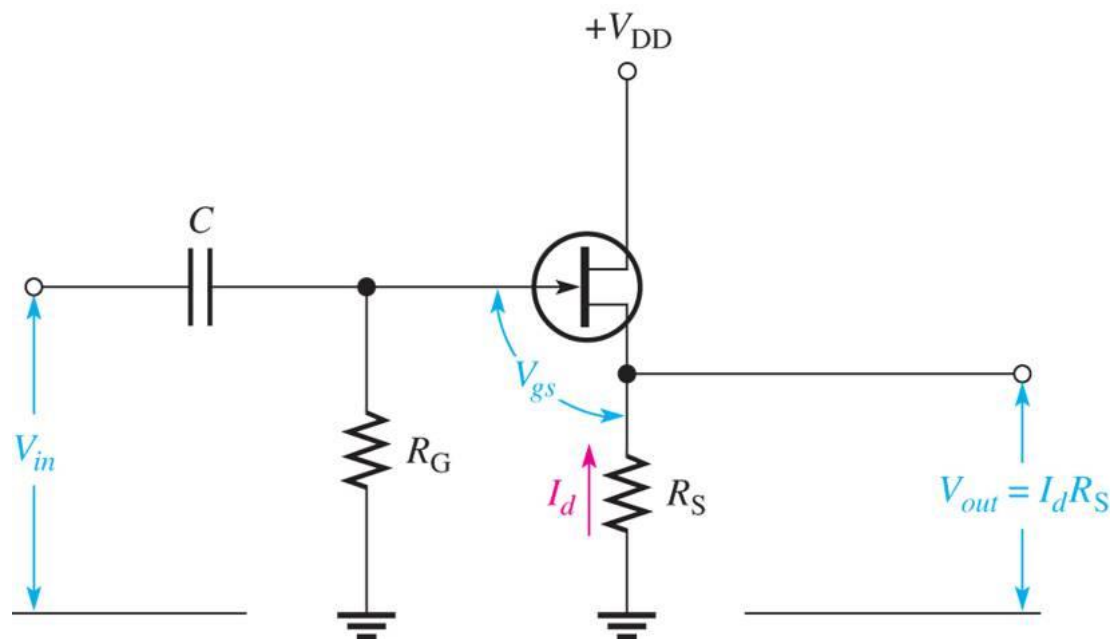
$$g_m = \frac{I_d}{V_{gs}}$$

- Forstavelsen «trans» betegner at man ikke måler ledningsevne på samme sted i kretsen (siden gaten er isolert fra source-drain)
- For en common-source forsterker er drain-strømmen multiplisert med drain-motstanden lik output-spenningen:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_d R_d}{V_{gs}} = g_m R_d$$

## Common-drain forsterker

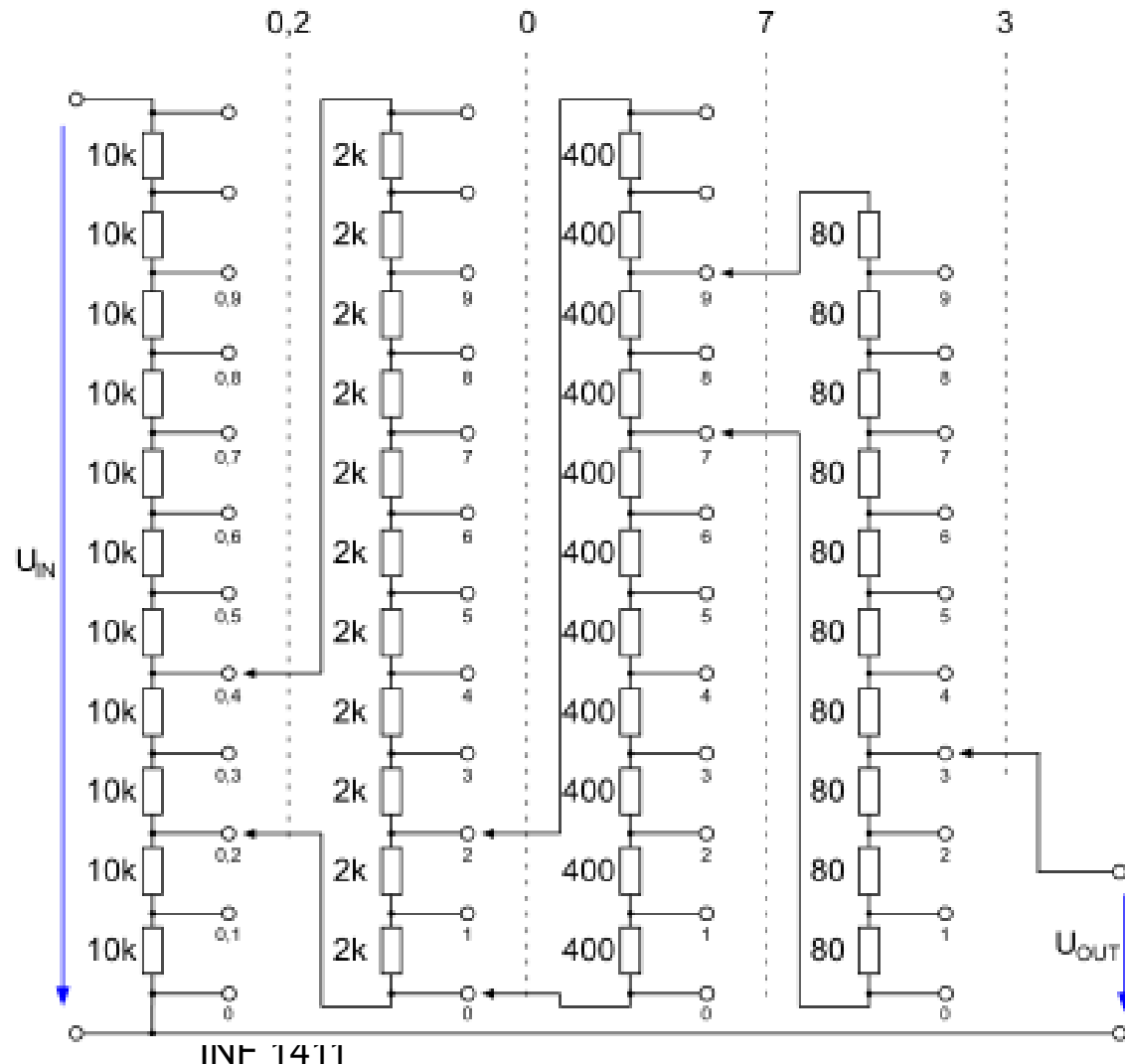
- Hvis man ikke trenger høy spenningsforsterkning men høy input-motstand, kan man bruke en common-drain forsterker

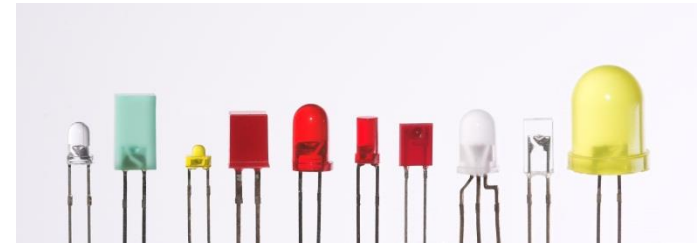




## Nøtt til neste gang

- Hvordan fungerer denne kretsen?
- Hva gjør kan den brukes til?
- Hva er begrensningen?





# Forelesning nr.10 INF 1411

## Oppsummeringsspørsmål

Transistorer



## Spørsmål 1

En transistor

- a) Kan brukes som en avhengig spenningskilde
- b) Kan ikke brukes som en avhengig strømkilde
- c) Tåler ikke strømmer over 1mA
- d) Må ha en fast forspenning

## Spørsmål 2

Gateoksydets hovedfunksjon er

- a) Å lede strøm
- b) Å redusere motstand
- c) Å isolere
- d) Å øke forsterkningen

## Spørsmål 3

En koblingskondensator brukes for å

- a) Øke strømforsterkningen
- b) Øke spenningsforsterkningen
- c) Fjerne DC-komponenter
- d) Fjerne AC-komponenter

## Spørsmål 4

En bypasskondensator brukes for å

- a) Øke strømforsterkningen
- b) Øke spenningsforsterkningen
- c) Redusere inngangsimpedansen
- d) Øke inngangsimpedansen

## Spørsmål 5

En felles kollektor-forsterker

- a) Har en spenningsforsterking større enn 1
- b) Har inngangsimpedans som er lineær i forhold til frekvensen
- c) Har strømforsterkning lik spenningsforsterkningen
- d) Har en strømforsterkning som er proporsjonal med emittermotstanden  $R_E$

## Spørsmål 6

«Crossover» forvrengning i en push-pull fortserker skyldes

- a) Ikke-lineær sammenheng mellom  $I_B$  og  $V_{CE}$
- b) At begge transistorene er i cut-off
- c) At begge transistorene er i metning
- d) At begge transistorene er i det lineære området



## Spørsmål 7

En felteffekttransistor (FET) er en

- a) Strømstyrt strømkilde
- b) Strømstyrt spenningskilde
- c) Spenningsstyrt spenningskilde
- d) Spenningsstyrt strømkilde

## Spørsmål 8

I en E-MOSFET

- a) Er det en fysisk kanal under gaten
- b) Øker konduktansen mellom drain og source når gatespenningen synker ned mot source-spenningen
- c) Går det ingen strøm gjennom gaten når transistoren er i cut-off
- d) Går det ingen strøm mellom drain og source når transistoren er i cut-off

## Spørsmål 9

En D-MOSFET

- a) Kan ikke brukes som en spenningsdeler
- b) Kan brukes som en strømkilde
- c) Trenger ikke koblingskondensator på inngangen
- d) Har  $0\Omega$  inngangsimpedans

## Spørsmål 10

En CMOS-transistor

- a) Har lav motstand på gaten
- b) Trekker mer strøm enn en BJT
- c) Finnes ikke i komplementære utgaver
- d) Har lavt effektforbruk

## Spørsmål 11

For å lage en NAND-port trenger man

- a) 2 CMOS transistorer
- b) 3 CMOS transistorer
- c) 4 CMOS transistorer
- d) 5 CMOS transistorer

## Spørsmål 12

I en CMOS-basert NAND-port er

- a) Både P- og N-transistorene i cut-off
- b) Både P- og N-transistorene i metning
- c) Både P- og N-transistorene i det lineære området
- d) P-transistorene i cut-off når N-transistorene er i metning

## Spørsmål 13

JFET-baserte forsterkere

- a) Har lavere inngangskapasitans enn BJT-forsterkere
- b) Har større lineært område enn BJT-forsterkere
- c) Har høyere inngangsadmittans enn BJT-forsterkere
- d) Har høyere inngangsimpedans enn BJT-forsterkere

## Spørsmål 14

Transkonduktansen i en FET er et mål på

- a) Forholdet drain-strømmen og gate-source spenningen
- b) Forholdet mellom drain-strømmen og drain-source spenningen
- c) Forholdet mellom inngangsimpedans og utgangsimpedans
- d) Forholdet mellom inngangsadmittans og utgangsadmittans



## Spørsmål 15

En ideel bryter har

- a) Lav høy motstand for lede strøm godt
- b) Høy konduktans for å trekke lite strøm
- c) Så kort svitsjetid som mulig
- d) Høy kapasitans