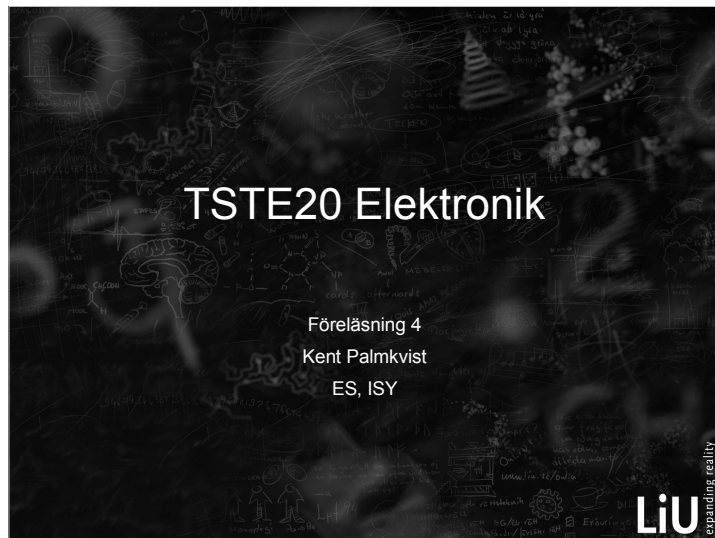




TSTE20 Elektronik

Föreläsning 4
Kent Palmkvist
ES, ISY

LiU
expanding reality

Praktisk info, forts.

- Löst uppgift
 - Fyll i ett konvolut (återanvänds tills uppgiften godkänd)
 - Konvolut hittas ovanpå den svarta brevlåda som svar lämnas i
 - Svart brevlåda placerad i samma korridor som Kents kontor
 - D-korridoren, 2:a våningen, mellan ingång 25 och 27, nära ingång 25.
- Rättade inlämningsuppgifter hämtas på Kents kontor
 - Må 11.00-11.30, 12.30-13.15
 - To 11.00-11.30, 12.30-13.15
- Deadline Fredag 19/12 kl 15.30.
 - Alla måste vara godkända annars måste alla göras om under 2014
 - Andra kurser under ht 2013!
Räkna inte med att ha en massa tid då!

LiU

Praktisk info

- Anmälningslistor till laboration 2, likström och upp/urladdning
 - Sätts upp Tisdag 11/2 kl 12.30
 - Samma placering som förra listan (anslagstavlan utanför CYD-poolen)
- Inlämningsuppgift 1 likström
 - Start Torsdag 6/2, kan då hämtas hos mig på kontoret eller under lektionen (TSTE58 och TSTE94 enbart hos mig på kontoret!)
 - Individuella, unika
 - Rättas efter inlämning, ni fixar ny version till korrekt löst
- Inlämningsuppgift 2 växelström
 - Fås samtidigt med uppgift 1
 - Inte lösas innan växelström gåtts igenom (VT2)

LiU

Dugga på laboration 2

- Laboration 2 inleds med en dugga (litet skrivet prov)
- Exempel på en sådan finns på labhemsidan till kursen
- Kräver 5 rätt av 7 möjliga
 - Vid 4 rätt fås en ny dugga (kräver där 5 rätt)
 - Gör om dugga vid annat tillfälle annars

LiU

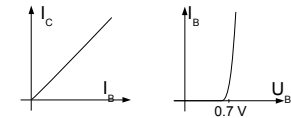
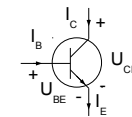
Dagens föreläsning

- Bipolär NPN transistor
- Exempel på användning
- Bipolär PNP transistor
- FET transistor
 - Princip
 - Funktion
 - Olika typer

LiU

Bas-emitter beteende

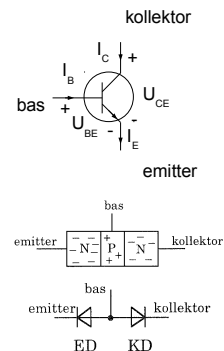
- Diod mellan bas och emitter
 - Leder ström när spänning U_{BE} större än 0.5 V
 - Kan oftast anta $U_{BE} = 0.7$ V (för kisel)
- Basströmmen I_B förstärks av transistorn
 - Kollektorström är större än basström
 - $I_C = \beta I_B$, β är strömförstärkningfaktor
 - Kräver $U_{CE} > U_{CEsat}$
 - Stor spridning på β
 - 20 – 140
 - 420 - 800



LiU

Repetition, bipolär NPN transistor

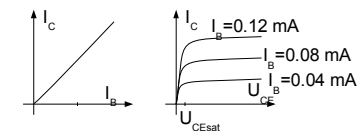
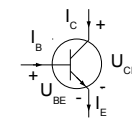
- Symbol
 - Kollektor (c)
 - Emitter (e)
 - Bas (b)
- Fysisk uppbyggnad
 - Två PN övergångar
 - Kan användas för att kontrollera typ av transistor mha ohm-meter
 - Kan inte bygga transistor av två diskreta dioder
- Flertal typer
 - Småsignal, switch, Effekt, RF (radiofrekventa signaler)



LiU

Kollektorström jämfört med kollektoremitterspänning

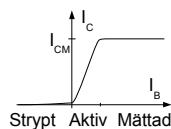
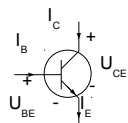
- Fungerar bara med positiva I_C och U_{CE}
- Styrbar strömkälla
 - Kräver $U_{CE} > U_{CEsat}$
 - Ganska platt kurva (låg inre resistans)



LiU

Transistorn som switch

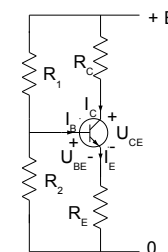
- strykt ($I_B = 0, I_C = 0$)
 - Ingen kollektorström, switch av
- Aktivt ($I_B > 0, I_C < I_{CM}$)
 - Ändring av basström ger ändring av kollektorström
- Mättad ($I_B > 0, I_C = I_{CM}$)
 - $U_{CE} = U_{CEsat}$ ökning av basström påverkar inte kollektorström



LiU

Beräkning av likströmmar i förstärkare

- Sökt: I_C, U_{CE}
- Givet: $R_1, R_2, R_C, R_E, B, U_{BE}$ (oftast antagen till 0.7 V)
- Steg 1: ersätt baskretsen (E, R1 och R2) med theveninekvivalent
- Steg 2: Beräkna emitterström
- Steg 3: Beräkna kollektor-emitterspänning



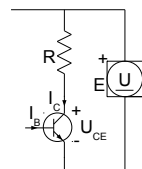
$$U_0 = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_0 = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

LiU

Exempel på switchtillämpning

- Antag I_B styr switchen.
 - $I_B = 0 \Rightarrow$ switch av
- Sökt: I_B för säker switch på
- Givet
 - $400 < B < 800, U_{CEsat} = 0.2 \text{ V}$
 - $E = 12 \text{ V}$
 - $R = 100 \Omega, 10\% \text{ nogrannhet}$
- Vill garantera bottnad transistor
 - Minimalt B, minimal R
 - $I_{Cmax} = 130 \text{ mA}$



$$\text{KVL: } U_{CE} + I_C R - E = 0$$

$$\text{transistor: } I_B = \frac{I_C}{B}$$

$$I_B = \frac{E - U_{CE}}{R B} = \frac{12 - 0.2}{(100 \cdot 0.9) \cdot 400} = 0.33 \text{ mA}$$

LiU

Forts.

$$\text{KVL: } U_0 - I_B R_0 - U_{BE} - I_E R_E = 0 \quad (1)$$

$$\text{KCL: } I_E = I_C + I_B \quad (2)$$

$$\text{transistor } I_C = B I_B \quad (3)$$

$$\text{KVL: } E - I_C R_C - U_{CE} - I_E R_E = 0 \quad (4)$$

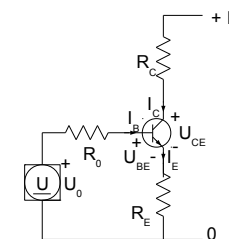
$$(2) + (3): I_E = B I_B + I_B = (B + 1) I_B$$

$$I_B = \frac{I_E}{(B + 1)} \quad (5)$$

$$(1) + (5):$$

$$U_0 - \frac{I_E}{(B + 1)} R_0 - U_{BE} - I_E R_E = 0$$

$$\frac{I_E}{(B + 1)} R_0 + I_E R_E = U_0 - U_{BE}$$



$$U_0 = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_0 = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

LiU

Forts.

$$\frac{I_E}{(B+1)} R_0 + I_E R_E = U_0 - U_{BE}$$

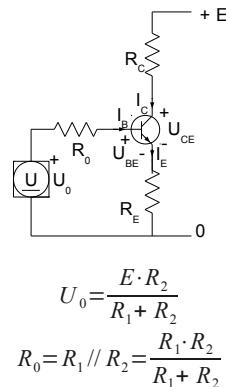
$$I_E = \frac{U_0 - U_{BE}}{R_E + \frac{R_0}{(B+1)}} \quad (6)$$

$$(3)+(5): I_C = B I_B = \frac{B I_E}{(B+1)} \quad (7)$$

$$(4)+(7):$$

$$E - \frac{B I_E}{(B+1)} R_C - U_{CE} - I_E R_E = 0$$

$$U_{CE} = E - \frac{B I_E}{(B+1)} R_C - I_E R_E$$



LiU

PNP transistorn

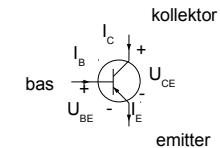
- Struktur
- Symbol
 - Samma namn som for NPN
 - Struktur speglas av symbol

- Ekvationer

- $I_C = B I_B$
- Strömförstärkningsfaktor B

- Notering:

- Alla spänningar och strömmar negativa värden
- Alla ekvationer fortfarande samma som for NPN
- $U_{BE} = -0.7 \text{ V}$ for kiseltransistorer (obs tecken)



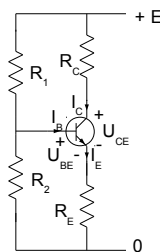
LiU

Problem med varierande B

- Individuella transistorer har olika värden på B
 - Skulle behöva trimma kretsen (ändra t ex R_1) individuellt på varje krets för att få specificerat I_C
 - Finns oändligt antal kombinationer av R_1 och R_2 som ger samma U_{BE} och I_B
- Från föregående slide:

$$I_E = \frac{U_0 - U_{BE}}{R_E + \frac{R_0}{(B+1)}} \quad (6)$$

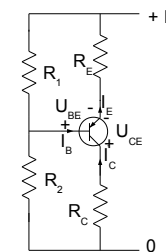
- Om $R_0 \ll B \cdot R_E$ ändras inte I_B så mycket om B ändras



LiU

Exempel, PNP transistorkoppling

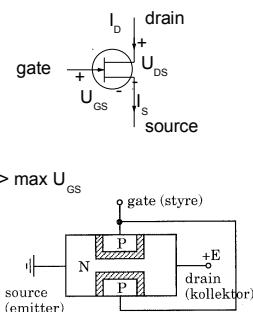
- Strömmar kommer flyta från E mot 0
- Notera riktningar på I_B , I_C , I_E och U_{CE}
 - Alla dessa kommer ha negativa värden
 - Samma ekvationer gäller for PNP transistor som for NPN transistor
 - $I_C = I_B B$



LiU

Fälteffekttransistor, JFET N-kanal

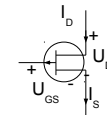
- Princip
 - Stryk kanal mha mättnadsområde från backspärrad diod
- Hög inimpedans $\Rightarrow I_D = I_S$
- Begränsat aktivt område
 - Dioderna måste behålla backspänning $\Rightarrow \max U_{GS}$
 - Kanal stängd $\Rightarrow$ ytterligare backspänning påverkar inte $\Rightarrow U_p$
 - U_{GS} negativ när transistorn används
- Symbol visar pn-övergångens riktning
- Symmetrisk, strömriktning bestämmer source och drain



LiU

P-kanal JFET

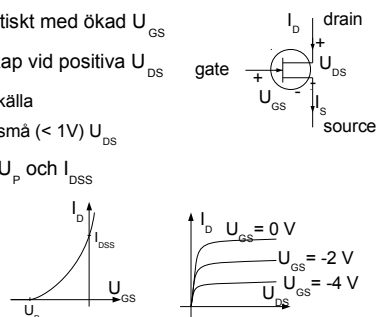
- Samma princip som N-kanal
- Symbol
 - Samma som N-kanal förutom riktning på pil
- Alla spänningar och strömmar har omvänt tecken jämfört med N-kanal



LiU

Fälteffekttransistorns beteende

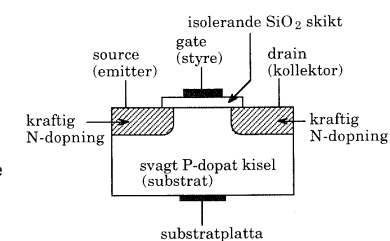
- Strömmen ökar kvadratisk med ökad U_{GS}
- Strömgeneratorregenskap vid positiva U_{DS}
 - Spänningsstyrd strömkälla
 - Resistorbeteende vid små ($< 1V$) U_{DS}
- Karakteriseras ofta av U_p och I_{DSS}



LiU

MOSFET fälteffekttransistorer

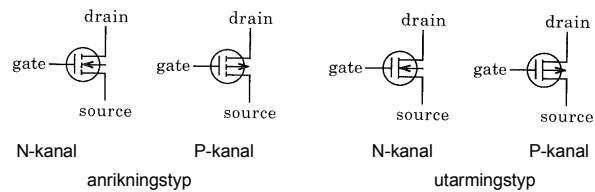
- Fysisk struktur N-kanal
 - Tryck bort hålen under gate mha spänning $\Rightarrow$ skapar tunn kanal under gate som leder ström
 - Anrikningstyp: leder inte ström vid $U_{GS} = 0$
 - Utarmsningstyp: N-dopning även i kanalen leder ström vid $U_{GS} = 0$, stäng av med negativ U_{GS}
- Motsvarande P-kanal finns också
 - Byt plats på P och N i figuren



LiU

Symboler

- Symboler
 - 4 versioner (N och P kanal, anriknings respektive utarmningstyp)
- Vanligaste transistoren för integrerade kretsar
- Teoretiskt beskriven före bipolär, fysiskt bevisad efter bipolär



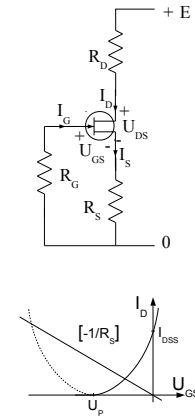
LiU

Exempel

- Selfbiased
 - Sourceströmmen ger negativt U_{GS}
- KVL i gate-slingan

$$-I_G R_G - U_{GS} - I_S R_S = 0$$
- Gateströmmen $I_G = 0$
 - $I_D = I_S$

$$I_D = I_S = -\frac{U_{GS}}{R_S} = -\frac{1}{R_S} U_{GS}$$



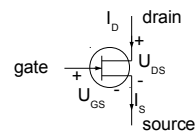
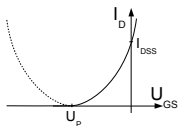
LiU

Matematisk beskrivning av

- I_D kvadratisk beroende av U_{GS}

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2$$

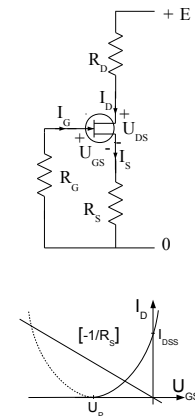
- Ekvationen gäller bara för $U_P < U_{GS} < 0$



LiU

Exempel

- Beräkna arbetspunkt (I_D och U_{DS})
- Givet
 - $R_D = 1 \text{ k}\Omega$
 - $R_S = 1 \text{ k}\Omega$
 - $R_G = 1 \text{ M}\Omega$
 - $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$
 - $U_P = -4 \text{ V}$
 - $E = 10 \text{ V}$
- Approach: sök först samband mellan gatespänning och drainström.



LiU

Exempel, forts.

Transistorns egenskaper

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2$$

$$I_G = 0, \quad I_S = I_D$$

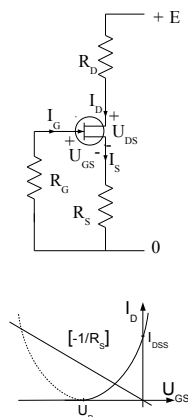
KVL i gateslingan

$$-I_G R_G - U_{GS} - I_S R_S = 0$$

$$U_{GS} = -I_S R_S = -I_D R_S = -R_S I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2$$

$$U_{GS} = -R_S I_{DSS} \left(1 - 2 \frac{U_{GS}}{U_P} + \frac{U_{GS}^2}{U_P^2} \right)$$

$$U_{GS}^2 + \left(\frac{U_P^2}{R_S I_{DSS}} - 2 U_P \right) U_{GS} + U_P^2 = 0$$



LiU

Exempel, forts.

- Beräkna I_D

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2 = 10 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{-2.1467}{-4} \right)^2$$

$$= 2.1467 \text{ mA}$$

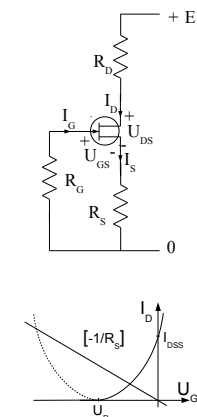
- KVL i drain – source

$$E - R_D I_D - U_{DS} - I_S R_S = 0$$

$$U_{DS} = E - R_D I_D - I_S R_S = E - I_D (R_D + R_S) = 10 - 2.15 \cdot (1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^3) = 5.7066 \text{ V}$$

- Svar

- $I_D = 2.15 \text{ mA}$
- $U_{DS} = 5.71 \text{ V}$



LiU

Exempel, forts.

- Två lösningar!

$$U_{GS}^2 + \left(\frac{U_P^2}{R_S I_{DSS}} - 2 U_P \right) U_{GS} + U_P^2 = 0$$

$$U_{GS}^2 + \left(\frac{(-4)^2}{1 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} - 2 \cdot (-4) \right) U_{GS} + (-4)^2 = 0$$

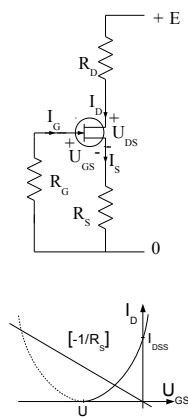
$$U_{GS}^2 + 9.6 U_{GS} + 16 = 0$$

$$x^2 + a x + b = 0 \rightarrow x = \frac{-a}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{a}{2} \right)^2 - b}$$

$$U_{GS} = \begin{cases} -2.1467 \\ -7.4533 \end{cases}$$

- Välj lösning så att $|U_{GS}| < |U_P|$

$$U_{GS} = -2.1467$$



LiU

Transistorns likströmsegenskaper i aktivt område (som förstärkare)

- NPN

$$I_C = \beta I_B$$

$$U_{BE} = 0.6 \text{ V (för kisel)}$$

$$U_{CE} > U_{CEsat}$$

$$I_B, I_C, U_{CE} \text{ positiva}$$



- PNP

$$I_C = \beta I_B$$

$$U_{BE} = -0.6 \text{ V (för kisel)}$$

$$U_{CE} < U_{CEsat}$$

$$I_B, I_C, U_{CE} \text{ negativa}$$



- N-kanal FET

$$I_G \approx 0$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2$$

$$U_{DS} > U_{DSsat}$$

$$I_D, U_{DS} \text{ positiva}$$

$$U_{GS} \text{ negativ}$$



- P-kanal FET

$$I_G \approx 0$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2$$

$$U_{DS} < U_{DSsat}$$

$$I_D, U_{DS} \text{ negativa}$$

$$U_{GS} \text{ positiv}$$



LiU