

Øving 6

Målsetning

Denne øvingen skal gi deg innsikt i virkemåten til en type transistorforsterker og betydning av valg av arbeidspunkt for denne. Du skal i tillegg få trening i beregning av arbeidspunkt for forskjellige forsterkerkoblinger.

Oppgave 1 (3 poeng)

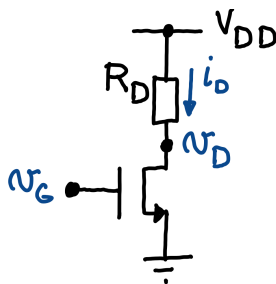
Det fins ulike typer forsterkere til ulikt bruk. Vi skal her konsentrere oss om *spenningsforsterkere*. Dette er systemer som har en inngangsspenning v_1 og produserer en utgangsspenning v_2 . Ideelt skal systemet utføre funksjonen

$$v_2 = Av_1 \quad (1)$$

der *forsterkingsfaktoren* A er et reelt tall større enn 1. I praksis vil (1) aldri være eksakt oppfylt, men en designer vil prøve å lage en god tilnærming.

Den spesielle forsterkertypen vi skal se nærmere på, er bygget opp rundt én NMOS-transistor. Slike transistorer kan modelleres som en styrt (eller avhengig) *strømkilde*, der drain-strømmen i_D er en funksjon av gate-source-spenningen v_{GS} . For å få en styrt *spenning* på utgangen føres drain-strømmen gjennom en motstand R_D slik at spenningsfallet over denne varierer proporsjonalt med i_D .

Figur 1 viser en oppkobling som illustrerer ideen.



Figur 1: Grunnkobling for en NMOS-basert spenningsforsterker

Her er source koblet direkte til jord, slik at vi har for gate-source spenningen at $v_{GS} = v_G$ og for drain-source-spenningen $v_{DS} = v_D$.

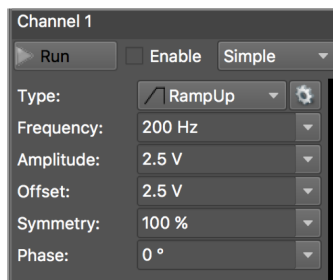
- a) Finn et uttrykk for v_D som funksjon av i_D .

Systemet i Figur 1 inneholder kjerneelementene i en spenningsforsterker og før vi utvider koblingen med flere komponenter, vil vi gjøre en undersøkelse av hvordan v_D oppfører seg som funksjon av v_G . Den detaljerte oppførselen avhenger av egenskapene til den transistoren som blir brukt, av verdien på motstanden R_D samt forsyningsspenningen V_{DD} .

- b) Kobl opp kretsen i Figur 1, og bruk komponentene BS170 (transistoren) og $R_D = 100$ ohm. Som forsyningsspenning bruker du $V_{DD} = 5$ volt. Pass på at du har kontroll over hvilke ben på transistoren som er henholdsvis D, G og S. Det finner du ut fra datablad som finnes på nettet. Forsyningsspenning lager du med *Supplies* i *Waveforms*. Foreløpig kobler du ikke noe til v_G .

Hvordan finne en graf for funksjonen $v_D = v_D(v_G)$? Én mulig måte er å manuelt sette v_G til en serie av verdier, måle v_D for hver enkelt tilfelle og plote resultatet. Det ville sikkert være lærerikt, men temmelig tidkrevende. Vi skal i stedet la en signalgenerator og et oscilloskop gjøre jobben for oss. Signalgeneratoren lar oss generere en spenning v_G som stiger jevnt fra 0 til 5 volt (en såkalt “rampe”) mens oscilloskopet viser den resulterende spenningen v_D . Begge typer instrumenter finnes i *Waveform*, og vi ser først på hvordan vi får signalgeneratoren til å oppføre seg som vi ønsker.

Ved å stille inn *Wavegen* som vist i Figur 2, lager den en spenning med det ønskede forløpet. Hvor raskt stigningen går, bestemmes av frekvensen, som her er satt til 200 Hz, men dette er ikke en kritisk verdi.

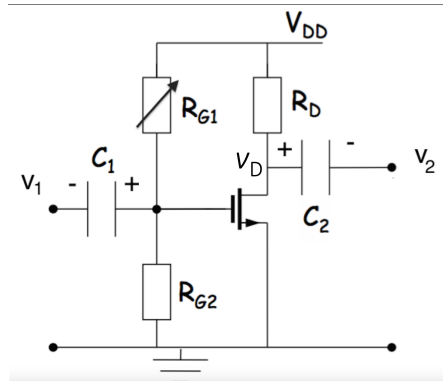


Figur 2: Innstilling av signalgenerator for sagtannspenning (sekvens av ramper).

- c) Oscilloskopet skal vi nå bruke på en litt spesiell måte. Først kobler du kanal 1 til v_G og kanal 2 til v_D . Start *Waveform* og *Scope* og sjekk at du får grafer på skjermen. (Husk å slå på *Supplies*.)
- d) Nå kommer selve trikset: På “vanlige” oscilloskop-plott, utgjør horisontal-aksen en tidsakse. Ved å gå til oscilloskopets *View*-meny og velge *Add XY*, får du opp et ekstra vindu der du kan sette kanal 1 på x-aksen og kanal 2 på y-aksen. Dermed får du opp direkte en såkalt *overføringskurve* som viser hvordan utgangen v_D avhenger av inngangen v_G .
- e) Marker i grafen verdiområder til v_{GS} der transistoren opererer i henholdsvis “cut off”, metnings- og triodeområde. Finn verdien til terskelspenningen V_T .

Oppgave 2 (3 poeng)

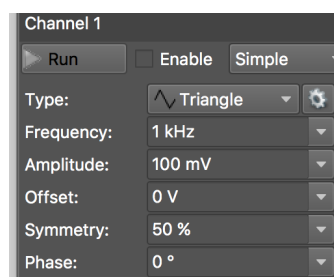
Vi skal nå “bygge ut” systemet fra forrige oppgave slik at det oppfører seg som en spenningsforsterker. Den komplette kretsen er vist i Figur 3.



Figur 3: Transistorforsterker (NMOS-basert spenningsforsterker)

Selve transistoren og motstanden R_D er som tidligere, men vi har føyet til to nye motstander og to kondensatorer. R_{G2} er en fast motstand på 10 kohm mens R_{G1} er variabel mellom 0 og 10 kohm. Kondensatorene skal være “store”. 1 μF er passe for vårt formål. Dersom du bruker elektrolytt-kondensatorer, pass på at den positive enden vender “innover” som indikert i figuren.

- Kobl opp kretsen som vist i Figur 3.
- Vi skal først finne et passelig arbeidspunkt for transistoren. Det gjør vi *uten* å koble til noe signal v_1 . Still inn R_{G1} slik at spenningen v_D får en verdi på ca. 2.5 volt. Denne verdien V_D blir nå en middelvei som spenningen v_D vil variere rundt når vi påtrykker et variert signal på v_G , og vi kaller den *arbeidspunktet* til v_D . (Merk bruken av små og store bokstaver her.) Hva blir nå verdien til $v_G = V_G$ og hva blir strømmen $i_D = I_D$? Marker punktet (V_G, V_D) i overføringskurven fra Oppgave 1.
- Vi skal nå påtrykke et signal v_1 . Bruk signalgeneratoren *Wavegen*, og generer et trekant-signal med frekvens $f = 1 \text{ kHz}$ og amplitude 0.1 volt ved å stille den inn som vist i Figur 4.



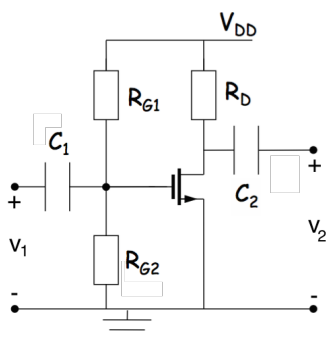
Figur 4: Innstilling av signalgenerator for trekantsignal

Bruk oscilloskopet og plott en figur som viser begge signalene v_1 og v_2 . Det visuelle resultatet skal bli en ganske bra tilnærming til (1). Hvor stor, cirka, blir forsterkningsfaktoren A ?

- d) Du kan nå variere arbeidspunktet med motstanden (potensiometeret) R_{G1} . Hva skjer? Prøv og forklar.
- e) Varier amplituden til inngangssignalet mellom 0,1 V og 1 V, og observer formen til utgangssignalet. Forklar hva som skjer. Stemmer det med det du forventet ut fra overføringskurven? Begrunn!

Oppgave 3 (3 poeng)

Gitt forsterkeren i Figur 5 med følgende verdier: $V_{DD} = 10\text{ V}$, $R_{G1} = 7\text{ k}\Omega$, $R_{G2} = 3\text{ k}\Omega$ og $R_D = 10\text{ }\Omega$. Vi antar at kondensatorene i kretsen er store. Transistoren er av type 2N6660 med karakteristikkene gitt i vedlegg 1. Bruk gjerne vedlegget til hjelp i oppgaveløsningen.



Figur 5: Transistorforsterker i oppgave 2

- a) Finn lastlinjen og tegn den i samme graf som transistorkarakteristikkene.
- b) Tegn overføringskurven som viser v_{DS} som funksjon av v_{GS} . Marker transistorens arbeidspunkt på kurven.
- c) Tegn forsterkerkarakteristikken (utgangssignalet v_2 som funksjon av inngangssignalet v_1).
- d) Inngangssignalet $v_1(t)$ er et periodisk trekantsignal som vist i vedlegg 1. Tegn utgangssignalet $v_2(t)$ i den samme grafen.
- e) Foreslå en endring i forsterkerens komponentverdier som gir et forbedret utgangssignal. Begrunn forslaget! Tegn den nye forsterkerkarakteristikken og utgangssignalet $v_2(t)$.

Oppgave 4 (6 poeng)

Finn arbeidspunkt $[V_{DS}, V_{GS}, I_{DS}]$ for forsterkere gitt i figurene 6, 7 og 8. Om du antar i utregningen at transistoren er metningsområdet, husk å sjekke etterpå at dette faktisk er tilfelle.

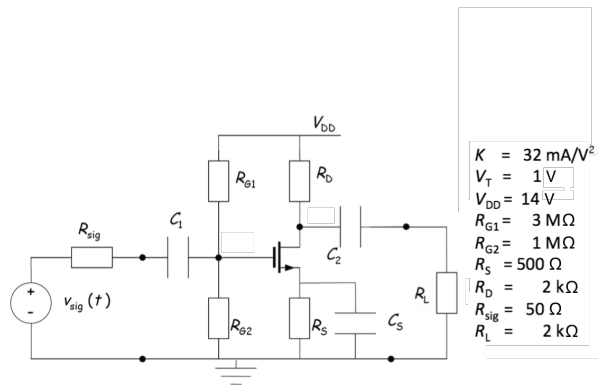


Figure 6:

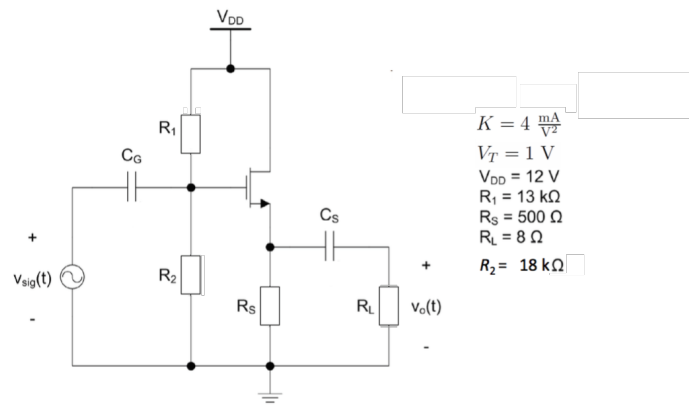


Figure 7:

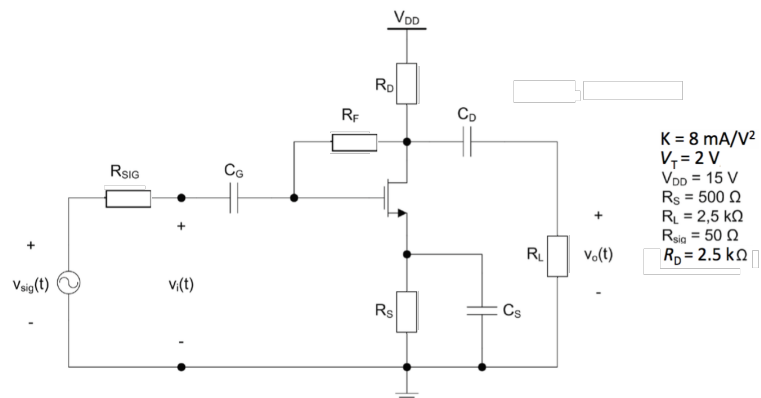
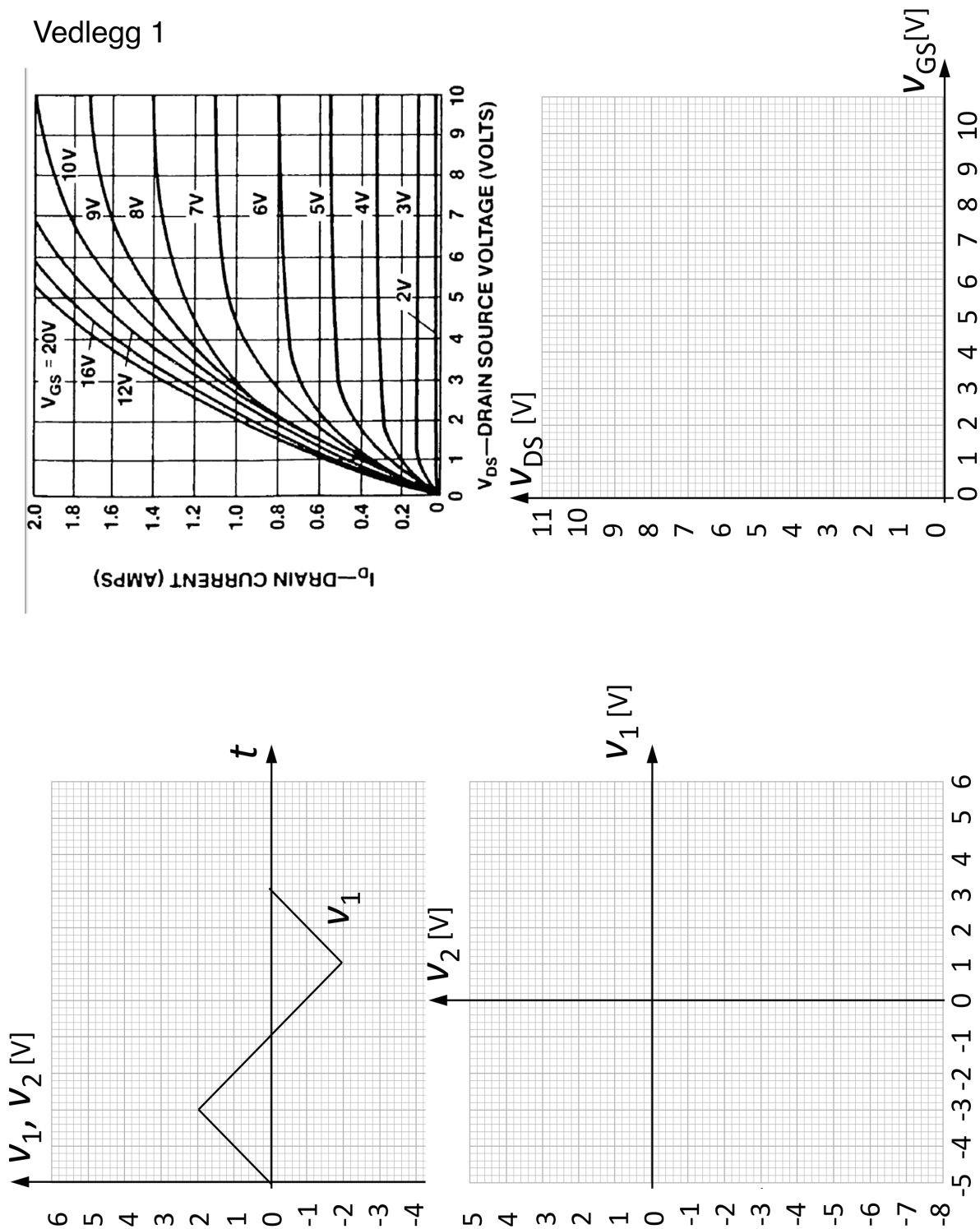


Figure 8:



Vedlegg 1