

FYS 2150: ØVELSE 6

TRANSISTORER OG SPENNINGSFORSTERKER

Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Mål.

Etter denne øvelsen skal du vite hvordan en transistor er sammensatt, og du skal kjenne til at en transistor virker som en strømforsterker som forsterker små endringer i basestrøm til store endringer i så vel kollektor- som emitterstrøm. Du skal også kunne lodde opp en enkel transistorforsterker etter oppgitt skjema og forklare virkningen av de forskjellige komponentene som er involvert. Du skal kunne gi en forklaring på hva vi mener med arbeidspunkt, og hvorfor dette ikke kan velges fritt. Du skal også kunne forklare hva som menes med en forsterkers frekvensgang, og hva det betyr at en forsterker har en øvre grense for hvor store signaler den kan forsterke.

Innledning.

Halvledere har revolusjonert den teknologiske utvikling i de industrialiserte land. I dag brukes kanskje de fleste halvledere i integrerte kretser av forskjellige slag. Noen av disse vil du stifte bekjentskap med i andre øvelser i kurset. Integrerte kretser er sammensatt av blant annet dioder og transistorer. Når dioder og transistorer opptrer enkeltvis som komponenter, snakker vi om diskrete komponenter (i motsetning til integrerte). Det er diskrete komponenter du skal undersøke i denne øvelsen. Vi håper at du gjennom dette vil få en brukbar forståelse av hvordan disse halvlederkomponentene virker. Det er svært sannsynlig at du vil møte slike komponenter igjen både i faglig og privatsammenheng siden. La oss først gi en liten gjennomgang av halvledere generelt.

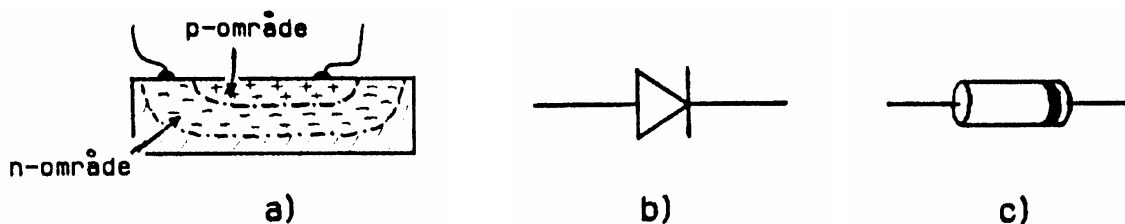
Halvledere er stoffer som har en ledningsevne (konduktivitet) som ligger mellom ledningsevnen for ledere (metaller) og isolatorer. Halvledere har egenskaper som har ført til mange praktiske anvendelser. All moderne elektronikk og data bygger på bruken av halvledere. Teorien for halvledere, og elektrisk ledningsevne generelt, er lite tilgjengelig hvis man ikke har gode kunnskaper spesielt i kvantefysikk og statistisk fysikk.

Enkrystaller av silisium er i dag det viktigste halvledermaterialet. Konduktiviteten til silisium kan økes ved tilsetning av fremmedatomer. Fremmedatomene erstatter da silisiumatomene på noen steder i krystallen. Slik tilsetning av fremmedatomer kalles doping. Ved doping med forskjellige stoffer kan man få såkalt p -ledende og n -ledende materiale. Et p -ledende materiale har et overskudd av positive ladningsbærere ("hull"), mens et n -ledende materiale har et overskudd av negative ladningsbærere (elektroner).

En diode eller en transistor, og for den saks skyld enda mer kompliserte komponenter, lages av *ett stykke* av halvledermaterialet. Ved en meget avansert teknikk kan så forskjellige områder av materialet dopes med ønskede fremmedatomer i ønsket konsentrasjon.

En kan fremstille krystaller som har et p -område og et n -område som møtes i et grensesjikt eller en pn -overgang. En slik overgang kan brukes som en halvlederdiode, og den virker da som likeretter for elektrisk strøm. Kobles dioden til en spenningskilde slik at p -siden blir positiv i forhold til n -siden, vil den kunne lede strøm og vi sier at dioden arbeider i lederetning. Bytter vi om slik at p -siden blir negativ i forhold til n -siden, vil vi ikke få målbar strøm med våre måleinstrumenter. Dioden arbeider da i sperreretningen.

I andre øvelser i dette kurset vil du undersøke sammenhengen mellom spenning over en diode og strømmen som går gjennom den. Sammenhengen, når den tegnes inn i en graf, kalles diodens strøm-spenning karakteristikk. Ut fra det som er sagt ovenfor, vil vi kunne si at diodekarakteristikken vil vise at strømmen gjennom dioden er null i sperreretningen (strømmen vil i realiteten ikke være null, men svært liten). I lederetningen øker strømmen meget raskt med spenningen. Spenningen må imidlertid overstige en viss verdi, "terskelverdien", før strømmen i lederetningen blir betydelig (i størrelsesorden mA). Terskelverdien ligger gjerne mellom 0,1 og 0,7 V, avhengig av diodematerialet. Resistansen i dioden vil variere med spenningen, men den vil være liten når dioden arbeider i lederetning og det går strøm gjennom den. (Resistansen er derimot meget høy når dioden arbeider i sperreretningen.)

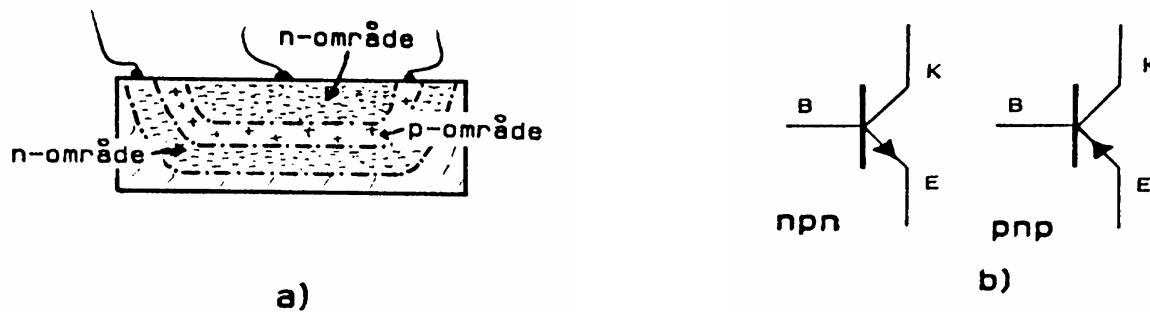


Figur 1: Skjematisk bilde (tverrsnitt) som viser at en diode er sammensatt av et p -type og et n -type område på samme halvlederkrystall (a). I b er symbolet for en diode gitt. Spissen viser positiv strømretning. I c er det vist en virkelig diode. Legg merke til ringen på den ene enden. Dioden arbeider i lederetningen når den negative spenningen er koblet til enden med ringen.

Strømmen gjennom dioder som arbeider i lederetningen er ofte i størrelsesorden milliampere. Enkelte dioder tåler liten og andre tåler stor strøm gjennom seg. Når strømmen blir større enn det dioden kan tåle, vil halvledermaterialet bli varmt, og dioden kan da ødelegges for bestandig. Det er ofte bare omkring 75°C som skal til på selve halvledermaterialet før skader kan oppstå. Dette har betydning også når vi skal lodde halvlederkomponenter. Vi må da ofte være forsiktige med loddebolten for at vi ikke skal varme opp halvledermaterialet for mye.

Det er ikke bare varme som kan ødelegge dioder og andre halvledere. Hvis spenningen i sperreretningen blir tilstrekkelig høy, vil f.eks. dioden begynne å lede også i sperreretningen (Reverse breakdown) og dioden kan ødelegges. Denne spenningen er ofte såpass høy (fra 50 til 1000 V avhengig av hvilken diode vi har) at vi ikke kommer i nærheten av dette med det utstyret vi bruker i denne øvelsen. (Statisk elektrisitet kan likevel true visse klasser med halvledere.) Ellers tåler halvledere vanligvis svært røff mekanisk påkjenning uten å ta skade.

Transistorer får vi dersom vi doper krystallen slik at det dannes et tynt sjikt f.eks. av p -materiale mellom to områder av n -materiale. Det blir da to pn -overganger i nær kontakt med hverandre. Alt etter hva slags doping vi har i den midterste sonen, deler vi transistorer i to hovedvarianter, nemlig npn og pnp transistorer. En npn transistor har et p -dopet område som ligger mellom to n -dopede områder. p -området kalles da *basen* i transistoren, mens de to n -områdene kalles *emitter* og *kollektor* (Se figur 2a). En pnp transistor består av et tynt n -dopet område som base, mens emitter og kollektor er p -dopede områder. Det er festet en ledning til hvert av de tre områdene, og figur 2b viser symbolene som benyttes for de to typene transistorer. Pilen på emitter viser positiv strømretning gjennom transistoren. (Husk at transistoren er laget av én krystall. Det går ikke an å lage en transistor ved å sette to dioder mot hverandre.)



Figur 2: Skjematisk oppbygning av en npn -transistor (a), og symbolene som benyttes for npn - og pnp -transistorer (b)

Det finnes andre måter å klassifisere transistorer på enn i variantene pnp og npn . Først og fremst skiller vi mellom bipolare flatekontakt transistorer og felteffekt transistorer (FET). Det er en variant av den siste klassen, såkalte MOS-FET transistorer, som dominerer digitalteknikk.

Det er nære likhetstrekk mellom en pn -overgang i en diode, og pn -overgangen som finnes mellom base og emitter i en transistor. Vi skal se nærmere på dette i oppgave 1.

For de som er nysgjerrige på hvordan halvlederen fungerer, har vi laget en teoridel med flere detaljer enn de som står ovenfor. Du kan lese den om du vil.

♠ *For de mest interesserte*

Litt mer om hvordan halvledere er bygget opp og fungerer.

Når en skal lage en halvleder, starter en ut med en eller annen krystall med passe egenskaper. Vi velger silisium i denne beskrivelsen. I silisiumkrystallen ligger silisiumatomene i et regelmessig gitter, og hvert atom har fire valenselektroner som inngår i bindingene med naboatomer. En silisiumkrystall uten forurensinger har liten ledningsevne.

Silisium "dopes" av og til med arsen eller bor. Med det mener vi at noen få silisiumatomer (f.eks. ett av 10^8 !) blir erstattet av arsen eller boratomer. En slik doping (forurensing) gjør at ledningsevnen øker kraftig, og vi får da en halvleder.

Dersom silisium dopes med arsen, får vi en n -type halvleder. Med det mener vi at ladningsbærerne er negativt ladd, det vil si elektroner. Dette kan du forstå dersom du husker at arsen har fem valenselektroner. Kun fire av disse er nødvendige i bindingene til naboatomene (silisium). Det femte elektronet er forholdsvis fritt bundet til arsenatomet. Det skal ikke store påvirkningene til før dette flytter seg til et naboatom og så til enda et, for så å lede strøm gjennom hele krystallen.

Dersom silisium derimot dopes med bor, får vi en p -type halvleder. Her snakker vi om en positiv ladningsbærer, og dette er litt vanskeligere å forstå. Bor bare har tre valenselektroner. Når bor går inn i krystallen, *burde* den hatt fire elektroner for å få normale bindinger til naboatomene. Det elektronet den mangler kaller vi et "hull". Det skal ikke store påvirkningene til før elektronet fra en nabobinding hopper inn i den bindingen som ikke er fullstendig. Men da blir det et hull på dette elektronets opprinnelige plass. Nye elektroner kan hoppe inn i dette hullet igjen, og så videre. Resultatet er at *hullet* kan bevege seg gjennom hele krystallen, og således lede strøm gjennom den.

Silisiumkrystaller som er dopet bare med bor eller bare med arsen får da en forholdsvis stor ledningsevne, men bortsett fra det er de ikke særlig spennende eller nyttige. Det er først når et p -område grenser inn mot et n -område at spennende ting skjer. Vi får da dannet en overgangssone eller et *pn-sjikt* med helt spesielle egenskaper.

Hva skjer når et p -område og et n -område grenser mot hverandre i samme krystall? Jo, to konkurrerende prosesser vil da finnested, nemlig diffusjon og bevegelse av elektriske ladde partikler i et elektrisk felt. La oss ta dem etter tur.

Diffusjon er den prosessen som får en dråpe blekk til å spre seg ut over alt i et glass med vann. I *pn-sjiktet* i en halvleder sørger diffusjon for at elektroner i n området vil forsøke å bevege seg inn i p området, og hull vil forsøke å bevege seg motsatt vei. I overgangssonen vil derfor noen elektroner fra n området smette inn i hull i p området, og i denne sonen vil det derfor bli en kraftig reduksjon av ladningsbærere totalt. *pn-sjiktet* vil derfor virke nesten som en isolator.

Diffusjonen stopper imidlertid snart opp, og overgangssonen blir derfor meget tynn (i størrelsesorden $1\mu\text{m}$). Dersom den ikke hadde stoppet opp, ville jo elektroner fra n området trengt inn i p området, og elektroner og hull ville oppeve hverandre i hele krystallen (dersom det var like mange av dem i utgangspunktet).

Men hva er det som forhindrer diffusjonen fra å bre seg utover hele krystallen? For å forstå dette kan vi ta for oss ett arsenatom i n delen av overgangssonen og ett boratom i p delen av denne sonen. Anta at arsenatomet har avgitt et elektron (pga. diffusjon) til boratomet, og slik fylt igjen hullet her. Da vil riktignok fire elektroner inngå i bindingene rundt både arsen- og boratomet, hvilket er gunstig. Arsenatomet blir imidlertid liggende igjen som et positivt ion fordi kjernen har en elementærladning mer enn antall elektroner. På liknende måte vil boratomet være et negativt ion (ha negativ ladning).

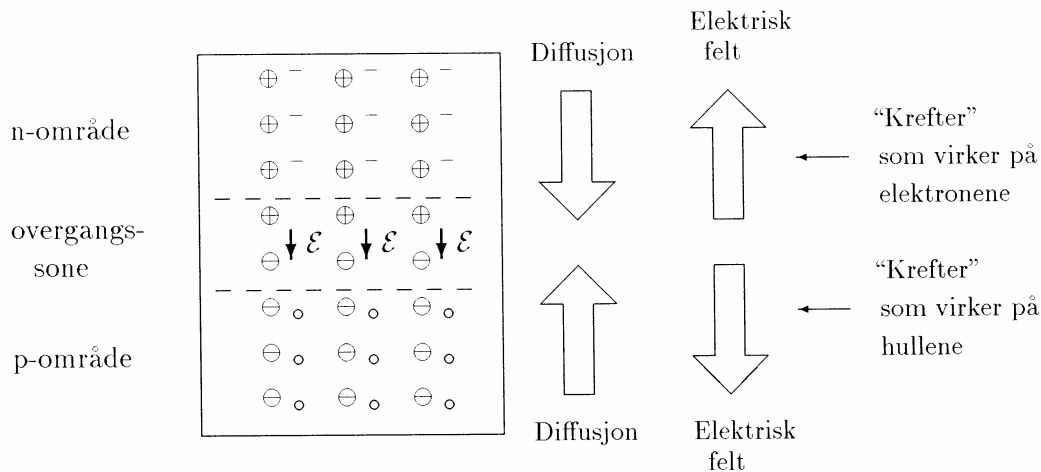
På denne måten vil en del arsenatom på n siden av overgangssonen ende opp som positive ioner, og en del boratomer på p siden som negative ioner (se figur 3). Men en slik separering av ladning fører til at det blir et elektrisk felt over overgangssonen, og feltet vil være rettet fra "pluss til minus", altså fra n siden til p siden.

Hva skjer når nye elektroner og hull forsøker å diffundere over overgangssonen? Elektronene som kommer inn i denne sonen vil føle det elektriske feltet, og vil bli påvirket av en kraft som er proporsjonal med feltets størrelse. Retningen på kraften vil virke motsatt vei av diffusjonen. Vi får altså som tidligere nevnt, to prosesser som konkurrerer med hverandre, diffusjon og kraften en ladet partikkel opplever i et elektrisk felt.

Før diffusjon har funnet sted, vil det elektriske feltet være null, og så øker det etter hvert som diffusjonen skrider fram. Etter en kort stund er det blitt en likevekt mellom disse prosessene. Da er det elektriske feltet såpass stort at n området har et potensial (spenning) på ca. 0.5 til 0.7V relativt til p siden. Denne spenningen får vi alltid over en *pn* overgang, men vi kan normalt ikke måle den direkte fordi multimeteret ville belaste *pn* sonen så kraftig at feltet ville bryte sammen. Enkelte halvledere (med *pn* overganger) er imidlertid konstruert noe annerledes enn vanlige dioder og transistorer, og for disse kan vi måle denne spenningen direkte. (Dette vil du få se i øvelsen som omhandler solceller.)

Hva skjer når vi setter en ytre spenning over en *pn* overgang?

Dersom vi setter en ytre spenning over en pn overgang, vil spenningen påvirke det elektriske feltet i overgangssonen. Dersom p siden får en negativ spenning relativt til n siden, vil det elektriske feltet i overgangssonen bli forsterket, og det gjør det vanskeligere enn noensinne for diffusjonen. Svært få ladningsbærere vil kunne passere overgangssonen, og strømmen blir minimal.



Figur 3: En pn -overgang mellom et p -dopet og et n -dopet halvledermateriale. Arsenatomene (kjernene) er inntegnet med \oplus , og boratomene med \ominus . (Silisiumatomene er ikke inntegnet.) Arsenatomene bidrar med hvert sitt elektron (inntegnet $-$) som ikke inngår i bindingene til naboatomer. Boratomene mangler ett elektron til disse bindingene, og det dannes da et "hull" (inntegnet som \circ). Elektroner og hull er ladningsbærere i henholdsvis n - og p -området. I overgangssonen har enkelte elektroner diffundert fra n -siden til p -siden for å gjøre bindingene mer komplette. Det dannes da arsen- og bor-ioner som vil sette opp et elektrisk felt \mathbf{e} over denne sonen. Diffusjon og elektrisk felt er "krefter" som beveger elektroner og hull inntil en balanse oppstår.

Dersom vi derimot kobler til en ytre spenning slik at p siden blir positiv relativt til n siden, vil vi redusere det elektriske feltet i overgangssonen. Blir spenningen høy nok, vil vi mer eller mindre oppheve feltet, og diffusjonen vil sørge for at hull kan vandre inn i n området, og elektroner inn i p området. Men disse vil likevel ikke kunne oppheve hverandre, for vår ytre spenningskilde vil stadig tappe elektronene fra p siden og fylle på med elektroner på n siden. Det går en strøm.

Betingelsen for at det skal gå en strøm er at den ytre spenningen må overskride den "naturlige" spenningen som diffusjonsprosessen førte til når halvlederen ikke var koblet til noe ytre kilde. Det vil si at vi må over 0.5 - 0.7 V før det går nevneverdig strøm.

Øker den ytre spenningen ut over dette, vil strømmen gjennom halvlederen øke kraftig, og den kan lett bli ødelagt. I praksis kobler vi derfor en motstand i serie mellom spenningskilden og halvlederen. Motstanden vil begrense strømmen i kretsen slik at den ikke blir større enn hva halvlederen tåler.

Kort om transistoren.

I en npn transistor har vi som tidligere nevnt et tynt p område mellom to n områder. Dersom vi f.eks. kobler en spenning mellom base og emitter (p området og et av n områdene), vil vi praktisk talt få samme bildet som for en enkel pn overgang slik vi diskuterte ovenfor. Vi får en strøm mellom base og emitter dersom spenningen på basen blir +0.5 - 0.7 V relativt til emitter.

Men hva skjer dersom vi setter en positiv spenning også på kollektor? Transistoren er da laget slik at mange av de elektronene som tidligere strømmet fra emitter til base, faktisk vil fortsette tvers gjennom det tynne p laget og inn i kollektorens n område. Dersom kollektor har positiv spenning relativt til emitter, vil faktisk strømmen av elektroner

fra emitter, tvers gjennom basen, og videre til kollektor, kunne bli mange ganger større enn den strømmen som går bare gjennom emitter og base.

Strømmen fra emitter, gjennom base, til kollektor, blir ubetydelig dersom spenningen på basen synker slik at det ikke går en base-emitter strøm. Det vil si at vi ved å endre på spenningen på basen (relativt til emitter) kan skru av og på strøm gjennom kollektor.

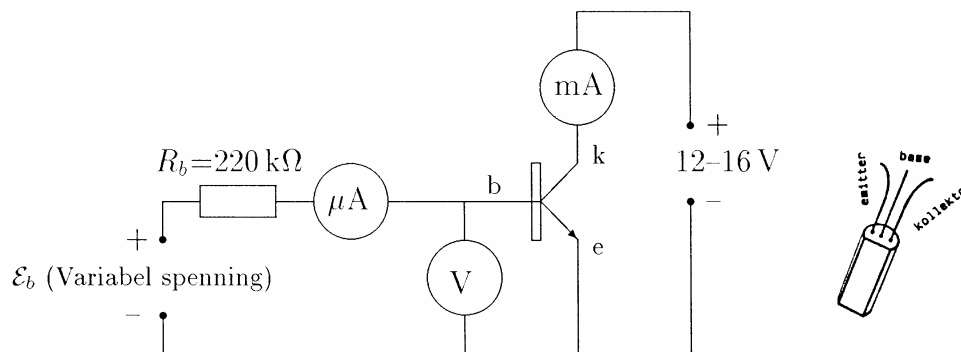
Det er et forholdsvis konstant forholdstall mellom antall elektroner som går fra emitter og ut gjennom basen, og antall elektroner som går hele veien fra emitter til kollektor. Ofte er forholdet i størrelsesordenen en til flere hundre, det vil si at strømmen kollektor-emitter er flere hundre ganger større enn strømmen base-emitter. Forholdstallet mellom disse kalles transistorens strømforsterkning.

Oppgave 1 : Transistoren: dens innebygde diode og strømforsterker-egenskaper.

I denne oppgaven skal du ta opp strøm-spenning karakteristikken for en av de to pn -overgangene som finnes i en transistor, og du skal se at transistoren virker som en strømforsterker. Du skal også studere hvilken sammenheng det er mellom strømmene i transistorens tre tilkoblingspunkt.

Koble opp slik som vist i figur 4. Transistoren setter du inn i en spesiell holder. Merk at vi bruker to forskjellige spenningskilder for å forsyne base og kollektor (begge relativt til emitter).

Spenningskilden for basen (\mathcal{E}_b i figuren) kan gi 0-15 V, og en motstand på $220\text{ k}\Omega$ er satt inn for å begrense basestrømmen. Basestrømmen er for øvrig svært liten, så du må bruke et multimeter som har stor følsomhet for strømmålinger (Fluke 45, eller 25 multimeter i μA innstilling). Kollektor får spenning gjennom egen spenningskilde på 12V (en hvilken som helst spenning mellom 9-16V kan brukes).



Figur 4: Måleoppstillingen ved bestemmelse av strøm-spennings karakteristikken for base-emitter dioden, og bestemmelse av strømforsterkning for en transistor (Oppgave 1).

Pass på at du bruker så korte ledninger som mulig i oppkoblingen, og at ledningene i basekretsen kommer langt bort fra ledningene i kollektorkretsen. Dette er viktig for å unngå at oppstillingen skal utvikle seg til en oscillator og gi svært ustabile måleresultater.

Oppgaven går nå ut på å variere basestrømmen *fra sin maksimale verdi til null* (varierte spenningskilden \mathcal{E}_b fra +15V til 0V). Noter sammenhørende verdier for base-emitter spenning V_b , basestrøm I_b og kollektorstrøm I_k .

Merk: Temperatureffekter kan gi ustabile målinger. For å redusere oppvarmingen kan det lønne seg å holde transistoren f. eks. mellom en tommel og pekefinger (helst uten at du kommer borti ledningene) mens målingene foregår.

Start altså med \mathcal{E}_b lik +15V og reduser denne etter hvert til 0V. (Ikke omvendt! Hvorfor?) Få med 4-5 målinger for $I_b \geq 10\mu\text{A}$ og 3-4 målinger for $I_b < 10\mu\text{A}$. Bruk vedlagte skjema. (Vi nøyer oss med positiv base og positiv kollektor relativt til emitter, slik som vist på figur 1.)

Fremstill resultatene grafisk på millimeterpapir i to forskjellige diagrammer. Det ene skal vise hvordan basestrømmen I_b varierer som funksjon av base-emitter spenningen V_b . Det andre skal vise hvordan kollektorstrømmen I_k varierer som funksjon av basestrømmen I_b . Vi anbefaler at du tegner målepunktene inn i diagrammet mens du måler (eller i det minste før du rigger ned oppkoblingen), slik at du er sikker på å få en rimelig god definering av karakteristikken med minimalt antall målinger.

Beskriv sammenhengen mellom V_{be} og I_b du kom fram til. Ser du noe likheter og ulikheter med diodekarakteristikken slik som den er beskrevet i teoridelen foran? Beskriv og kommenter også sammenhengen mellom I_k og I_b .

Hvordan er det så med emitterstrømmen? Vi har hittil kun sett på de to andre strømmene. Bruk prinsippet med at ingen strøm blir borte, for å finne ut hvor stor emitterstrømmen er når basestrømmen I_b og kollektorstrømmen I_k er gitt.

La oss gå tilbake til transistorens karakteristikk igjen. Transistoren du bruker heter BC~546B-16~N. Bokstavene BC viser at det er en silisium-transistor velegnet for små signaler, 338 er et typenummer, og bokstaven B forteller at transistorens strømforsterkning skal være mellom 240 og 500.

Hadde det i stedet for B stått 16~N ville strømforsterkningen vært minimum 160, bokstaven A ville angitt en strømforsterkning mellom 125 og 260, og en C ville bety en strømforsterkning mellom 450 og 900.

Bestem strømforsterkningen $b = \mathbf{D} I_k / \mathbf{D} I_b$ til din transistor. Dette gjøres ved å bruke to punkter på den tilnærmet rettlinjede delen av kurven du har trukket, og så benytte formelen $b = (I_{k1} - I_{k2}) / (I_{b1} - I_{b2})$. Er strømforsterkningen du fant i overensstemmelse med transistorens betegnelse?

Målingene viser at man med en liten strøm, basestrømmen, kan styre en meget større strøm. Heri ligger transistorens muligheter til signalforsterkning.

Vi håper at du ovenfor fant at strømmen gjennom transistoren, I_k eller I_e , er omtrent null så lenge det ikke er noen basestrøm. Fra beskrivelsen av dioden vet du at det ikke begynner å gå noen strøm gjennom dioden før spenningen over den kommer opp i 0.5 - 0.7 V. Alle strømmene i transistoren vil derfor være svært små inntil base-emitter spenningen når denne verdi. Siden

transistoren kun leder strøm dersom base-emitter spenningen V_{be} overskrider en viss terskelverdi, kan transistoren også brukes som bryter.

I transistortenning på biler utnytter man dette. På grunn av gnister blir stiftene ødelagt etter en tids bruk. Dersom en lar "stiftene" bryte og slutte basestrømmen i en transistor mens kollektorstrømmen går gjennom coilen, kan en spare slitasje på stiftene. Grunnen er at en i basekretsen har med meget mindre strømmer og spenninger å gjøre enn i kollektorkretsen, og dermed får en mindre gnistdannelser enn man ville fått hvis en skulle hatt en bryter for kollektorstrømmen. På grunn av selvinduksjonen i coilen oppstår det imidlertid store spenninger når strømmen brytes og sluttes. Det stilles derfor spesielle krav til transistorer som skal brukes i transistortenninger.

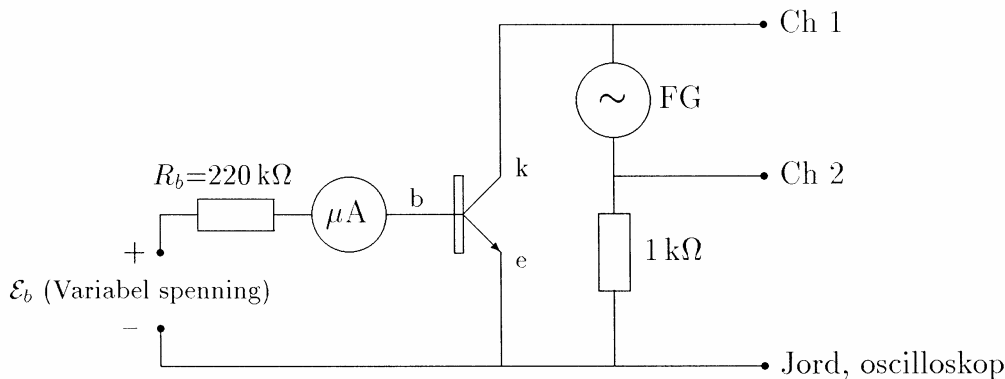
Oppgave 2 : Hvordan varierer kollektorstrømmen med kollektor-emitter spenningen?

I Oppgave 1 fant vi strømforsterkningen til transistoren for én bestemt spenning på kollektor. Men hvordan vil denne forsterkningen variere når spenningen på kollektor endrer seg? Dette skal du finne ut i denne oppgaven. Resultatet er faktisk meget interessant, fordi det vil vise at vi forholdsvis lett kan lage en *spennings*-forsterker ved å bruke en transistor (selv om transistoren egentlig bare er en *strøm*-forsterker). Vi skal komme tilbake til dette i større detalj i neste oppgave

I stedet for å måle enkeltvis sammenhengende verdier av strøm og spenning skal du nå bruke en "smart" måte å tegne opp sammenhengen mellom kollektorstrømm og emitter-kollektor spenning. Vi skal da bruke et oscilloscop i XY mode. Opplegget minner litt om det vi gjorde i Øvelse 2 da vi tegnet Lissajou figurer på skjermen. Vi brukte da to spenninger til å styre X og Y avbøyningen på oscilloscopet, og fikk vist hvordan den ene spenningen varierer i forhold til den andre.

Dersom vi skal tegne strøm-spenning karakteristikken til en halvleder må spenningen over halvlederen styre x-avbøyningen på oscilloskopet, og "strømmen" gjennom halvlederen styre y-avbøyningen. Strømmen kan vi ikke måle direkte med et oscilloskop, men vi bruker det vanlige trikset med å sette inn en kjent motstand i serie med komponenten og måle spenningen over denne. Strømmen finner vi så ved å bruke Ohms lov.

Dersom vi brukte en vanlig DC spenningskilde, ville vi bare se ett punkt på kurven om gangen på oscilloskopskjermen. Vi bruker derfor heller en AC kilde (en funksjonsgenerator) slik at vi stadig vekk endrer spenningen over et passende spenningsområde.



Figur 5: Måleoppstillingen når en skal bestemme hvordan kollektorstrømmen varierer med kollektor-emitter spenningen.

I denne oppgaven skal du bruke funksjonsgeneratoren Topward 8112. Denne funksjonsgeneratoren har ikke jordet nettplugg, dvs. at jord på utgangen ikke er referert til sannjord. Kan du tenke deg hvorfor akkurat dette er viktig i denne oppstillingen? (Se på koblingsskjemaet i figur 5.).

Still funksjonsgeneratoren inn på ca. 50 Hz sinus, maksimum amplitude. Still DC OFFSET til maksimum (knapp trukket ut og dreid helt mot +). Koble så opp som vist i figur 5. Still spenningskilden \mathcal{E}_b til null volt foreløpig slik at det ikke går noe basestrøm (målt med amperemeteret μA).

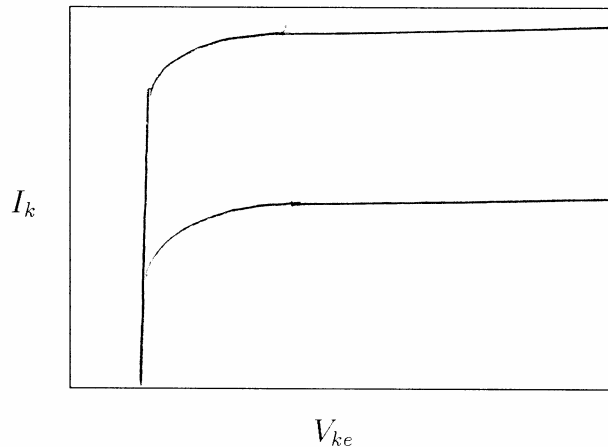
Sett oscilloskopet i XY mode, med følsomhet 1V/div på begge kanalene. Siden spenningen over motstanden vil ha motsatt fortegn av strømmen gjennom kollektor, må signalet på kanal 2 inverteres (bytte fortegn). Oscilloskopet skal derfor stå i Ch2 INVERT innstilling.

Sett begge kanalene til jord (AC-GND-DC vender til GND), og still strålen til (-4,-3) ruter på rutenettet på skjermen relativt til midten (dvs. (+1,+1) ruter relativt til nedre venstre hjørne). Dette blir nå origo (null spenning, null strøm) i diagrammet. Still så begge kanalene i DC mode.

Øk spenningen på spenningskilden \mathcal{E}_b inntil basestrømmen du leser av på multimeteret er ca. 20 μA (kommer kurven på skjermen for høyt, må du bruke en litt lavere verdi). Finjuster så DC OFFSET (og eventuelt også amplituden) på funksjonsgeneratoren til at kurven på oscilloskopskjermen akkurat ender i det valgte origo. Spenningen fra funksjonsgeneratoren varierer da fra 0 til 20-30V (temmelig forvrengt sinus, men det spiller ingen rolle her). (Har du ikke justert DC OFFSET og amplitude rett, vil minimumsspenningen enten ikke komme helt ned til null, eller du vil også få med negative verdier.)

Tegn inn kurven i vedlagte rutenett. Ut fra den oppgitte følsomhet på 1V/div på oscilloskopet, og med kjennskap til at seriemotstanden er 1 $\text{k}\Omega$, skal du også her tegne inn ordentlige akser med riktige verdier for spenning og strøm langs kantene på rutenettet. Identifiser kurven din med å markere at basestrømmen her er $I_b = 20\text{ }\mu\text{A}$ (eller den verdien du virkelig hadde).

Reduser spenningen på spenningskilde e_b inntil basestrømmen er ca. $10 \mu\text{A}$. Tegn inn kurven du ser på oscilloskopskjermen også for dette tilfellet i samme rutenett som ovenfor. Merk denne kurven med den aktuelle I_b verdi. Reduser basestrømmen videre til ca. $5 \mu\text{A}$, og tegn også denne kurven. Kurvene du skal finne fram til vil forhåpentligvis vise et forløp omtrent som vist i figur 6.



Figur 6: Eksempler på hvordan skjermbildet kan se ut ved måling av kollektorstrøm som funksjon av kollektor-emitter spenning på en transistor. De to kurvene antyder to forskjellige valg av basestrøm.

Er det rimelig overensstemmelse mellom strømmene I_b og I_k som du finner i dine karakteristikk sammenliknet med det du målte manuelt i oppgave 2? (Dette er ikke helt lett å avgjøre fordi måleområdet i denne siste oppgaven ikke nødvendigvis overlapper det du brukte i oppgave 1. Gjør et forsøk likevel, men legg ikke for mye arbeid i dette.)

Kurven som fremkommer på skjermen viser kollektorstrømmen I_k som funksjon av spenningen V_{ke} mellom kollektor og emitter for en fast verdi av basestrømmen I_b . Karakteristikkene viser at for små kollektor-emitter spenninger V_{ke} vil kollektorstrøm gå mot null uansett basestrøm. Dersom V_{ke} overstiger en viss verdi, blir situasjonen en ganske annen. Da er kollektorstrømmen temmelig uavhengig av kollektor-emitterspenningen V_{ke} selv for store variasjoner i V_{ke} . Dette har stor betydning når det gjelder transistorens egenskaper som forsterker.

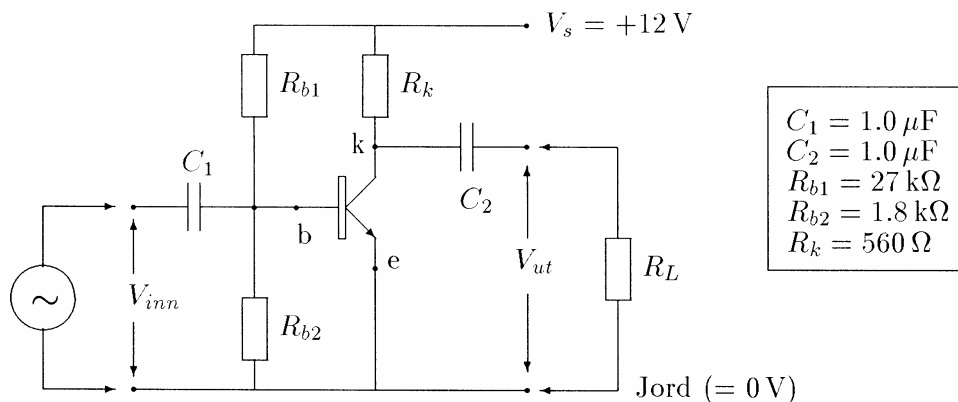
Transistoren er nemlig i prinsippet bare en *strøm*-forsterker, og vi vil gjerne benytte den i kretser slik at disse fungerer som *spennings*-forsterkere. Ved å sette inn en motstand mellom kollektor og spenningskilden kan vi omvandle endringer i strøm til endringer i spenning. Dette vil vi nå gjøre bruk av.

Spenningsforsterkeren

Innledning.

Elektriske signaler kan ofte være meget svake, så svake at det ikke lar seg gjøre å måle dem direkte. Det er derfor vanlig å sette inn en forsterkerkrets mellom kilden til signalene og måleinstrumentet. Eksempler på kilde i denne sammenhengen kan være en antenne, en hudelektrode, en transducer osv. Måleinstrumentet kan være et voltmeter, et oscilloskop e.l.

Du har allerede brukt flere forsterkere her på labben, f.eks. har oscilloskopene innebygde forsterkere på begge inngangene, og det er forsterkningen mellom inngangssignalet og det signalet som går til plateparene på oscilloskoprøret du varierer når du endrer V/div innstillingen. Du skal nå lage din egen forsterker, og kretsdiagrammet er vist i figur 7. Kretsen er meget enkel sammenliknet med kompliserte kretser beregnet på topp ytelse, men den likner likevel på kretser som danner byggeklossene i større forsterkere.



Figur 7: Kretsdiagram for spenningsforsterkeren. (R_L er lastmotstanden.)

Selv om kretsen elektronisk sett er enkel, og bare benytter en enkel transistor, så antar vi at kretsdiagrammet i figur 7 virker temmelig fremmed for de fleste av dere. Vi tror likevel at du skal kunne forstå denne kretsen brukbart før øvelsen er over. For å oppnå dette skal vi gjennomgå kretsen bit for bit. Vi kommer til å bygge på det du lærte tidligere om transistorer.

Vi legger denne øvelsen opp til at du skal kunne forstå kretsen kvalitativt. Noen av dere vil få en nøyere gjennomgang med mange detaljer i andre kurs. I Fys 2150 ser vi det kanskje som viktigere at du lærer litt om hvilke parametre vi bruker for å *karakterisere* en forsterker, og om *hvordan en slik karakterisering gjennomføres*.

Forøvrig forsøker vi i denne øvelsen å minne om et meget viktig punkt i eksperimentalfysikk: Vi må passe på at et måleoppsett eller instrumentering virkelig brukes under de betingelser det er tiltenkt. Det finnes alltid en øvre og en nedre grense for visse parametre (spenning, strøm, temperatur, frekvens etc.) som vi må holde oss innenfor for at utstyr vi bruker skal fungere som

vi ønsker. Vi sier da at vi må velge riktige arbeidsbetingelser eller ”arbeidspunkt”. Det er eksperimentalfysikerens ansvar å ha disse arbeidsbetingelsene under kontroll.

I denne øvelsen skal vi komme inn på disse grenseverdiene i flere sammenhenger. Først må vi passe på at spenninger og strømmer i transistoren er slik vi ønsker for at den skal kunne brukes som forsterker. Deretter skal vi se at forsterkeren ikke vil oppføre seg like tilfredsstillende for alle inngangssignal. Vi vil også drøfte størrelser slik som frekvensområde og linearitet. Begge deler kan forholdsvis enkelt forstås ut fra måleresultatene du kommer fram til. Aller først må du likevel bli med på en gjennomgang av forsterkeren bit for bit.

Den sentrale del av forsterkeren.

Det finnes flere prinsipielt forskjellige forsterkertyper. Vi har tidligere i øvelsen sett hvordan en transistor virket som en *strøm*forsterker. Nå skal vi benytte denne egenskapen til transistoren for å lage en *spennings*forsterker. Med en spenningsforsterker tenker vi da på en krets som er konstruert slik: Når en påtrykker små spenningsvariasjoner mellom to punkter i kretsen som vi kaller inngangen, så oppstår det likedannede, men større spenningsvariasjoner mellom to andre punkter i kretsen som vi kaller utgangen.

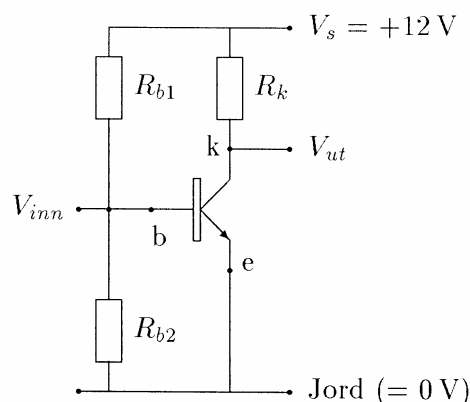
Den spenningsforsterkeren vi skal bruke er bare beregnet for vekselspenning, ikke for likespenning. Ved måling av inngangs- og utgangsspenningene må vi derfor bruke et vekselspenningsinstrument, f.eks. et oscilloskop.

Når vi betrakter en transistor i en forsterker, må vi skille klart mellom:

1. *Likespenninger* (og likestrømmer) i kretsen når det ikke er noe (vekselstrøms)-signal på inngangen. Disse spenningene og strømmene er viktige for å få transistoren til å fungere best mulig som forsterker. Og
2. *Vekselspenninger* (og vekselstrømmer) i kretsen. Disse vekselspenningene er rett og slett signalet vi skal forsterke opp.

En stor del av arbeidet i denne øvelsen går med for å sikre oss at likespenningene og -strømmene er slik vi ønsker. Vi sørger med andre ord for et brukbart arbeidspunkt for forsterkeren. Det er først når dette arbeidet er gjort at kretsen kan anvendes som en (vekselspenning)forsterker.

Vi skal nå starte med likespenninger og likestrømmer (”arbeidspunkt”), og betrakter da bare den sentrale del av forsterkerkretsen. Vi har tegnet denne delen for seg i figur 8.



Figur 8: *Kretsdigram for den sentrale del av spenningsforsterkeren.*

Da vi studerte transistoren brukte vi én spenningskilde for å oppnå passe base-emitter spenning (og strøm), og en annen spenningskilde for å forsyne kollektor. I forsterkeren bruker vi bare én kilde. Vi må da gjøre noen triks.

Legg merke til at vi har laget en spenningsdeler ved hjelp av to motstander R_{b1} og R_{b2} . Basen er koblet midt mellom disse motstandene. Ved å velge R_{b1} passe stor i forhold til R_{b2} , kan egentlig basespenningen varieres hvor vi vil innenfor intervallet 0 til V_s (0-12V). Vi velger resistansene slik at basespenningen blir +0.5-0.7V relativt til emitter, for da vet vi fra Oppgave 2 at det vil gå strøm gjennom transistoren.

Vi så at strøm-spenning karakteristikken til base-emitter overgangen var temmelig bratt når V_{be} var i området 0.5-0.7V. Det betyr at selv små endringer i base-emitter spenningen vil føre med seg relativt store endringer i basestrømmen. En må derfor ofte være nøye med spenningsdeleren R_{b1}/R_{b2} dersom en ønsker en helt spesiell basestrøm.

Kollektor kunne i prinsippet blitt forsynt av spenningskilden V_s direkte. Du ser at vi likevel har valgt å sette en motstand mellom spenningskilden og kollektor. Hvilken hensikt har den?

Som du husker er transistoren egentlig bare en *strøm*forsterker. Hva slags triks skal vi da benytte for å omgjøre strømsignaler til spenningsignaler? Vel, du burde kjenne dette trikset nå. Vi har allerede benyttet det for å kunne studere "strøm" med et oscilloskop. Vi setter inn en motstand. Når strømmen går gjennom motstanden, vil spenningen over denne, ifølge Ohms lov, være proporsjonal med strømmen.

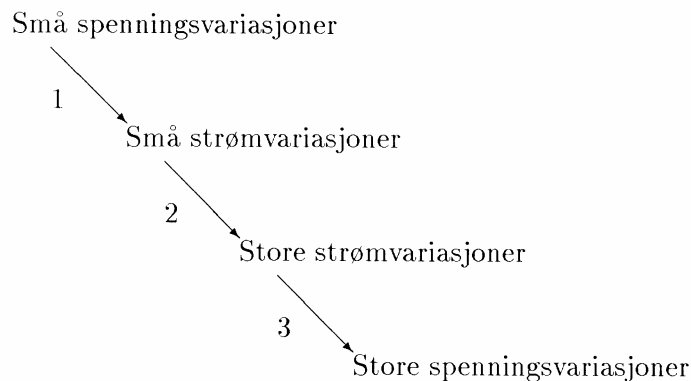
Siden motstanden R_k på den ene siden er koblet til en konstant spenningskilde V_s , vil spenningen på kollektor variere med strømmen gjennom motstanden R_k (strømmen gjennom kollektor). Dersom strømmen er stor, vil spenningen bli liten, og visa versa.

I utgangspunktet høres dette trikset heller tvilsomt ut, for vil ikke kollektorstrømmen endre seg når spenningen på kollektor varierer? Vi vil jo generelt sett på en endring i transistorens strømforsterkning når spenningen på kollektor endrer seg (egentlig: når kollektor-emitter spenningen endrer seg).

Dersom vi går tilbake til siste del av Oppgave 2 vil vi se at trikset likevel er OK. Grunnen er den at kollektorstrømmen viste seg å endre seg relativt lite selv om kollektor-emitter spenningen varierte over et temmelig stort område (måtte dog være over ca. 1V ifølge diagrammene du fikk i Oppgave 2). Det betyr at vi ikke endrer transistorens strømforsterkning særlig mye når vi setter inn en kollektormotstand R_k .

Hele forsterkeren vil da i prinsippet virke på følgende måte:

Når spenningen (inngangssignalet) varierer på basen, vil basestrømmen variere i takt med spenningen (ifølge strøm-spenning karakteristikken). Når så basestrømmen varierer, vil også kollektorstrømmen variere. Vi har sett at kollektorstrømmen er større enn basestrømmen, så det er her selve forsterkningen foregår. Kollektorstrømmen vil i sin tur føre til en endring i kollektorspenningen (på grunn av motstanden R_k). Det er variasjoner i denne spenningen vi benytter som utgangssignal i forsterkeren. Skjematisk sett virker da forsterkeren slik:



Det kan være verd å merke seg at når spenningen på inngangen øker, vil spenningen på utgangen avta. Dette har sammenheng med at en økning i kollektorstrømmen fører til en reduksjon i kollektorspenningen (større spenningsfall over R_k). Sender vi en sinusformet spenning inn på inngangen, vil derfor signalet på utgangen bli invertert, eller populært sagt: faseforskjøvet 180° .

Hvilken funksjon har de tilgrensende kondensatorene?

Vi så at basespenningen må ligge på et bestemt nivå (vanligvis mellom 0.5 og 0.7V) for at transistoren skal virke tilfredsstillende. Dette gjør det umulig å koble f.eks. en funksjonsgenerator direkte til basen, for signalet fra funksjonsgeneratoren svinger vanligvis på begge sider av 0V.

Funksjonsgeneratoren ville dominere over spenningsdeleren R_{b1}/R_{b2} fordi den indre motstand i funksjonsgeneratoren er langt lavere enn resistansene i spenningsdelingen. Base-emitter spenningen ville da variere på begge sider av null, og utgangssignalet ville bli "klippet" der inngangssignalet var negativt (eller lavere enn +0.5V). Med andre ord: Forsterkeren ville fungere høyst utilfredsstillende for normale formål.

Ved å sette inn kondensatoren C_1 i figur 7 kan vi skille inngangssignalet DC-messig fra basekretsen. Kondensatoren gjør det mulig at inngangen kan svinge omkring 0V (eller et hvilket som helst annet likespenningsnivå), samtidig som basespenningen kan svinge omkring en verdi $V_{be} \approx (0.5-0.7)V$. Kondensatoren C_1 slipper kun gjennom vekselspenningsignal. Base-emitter spenningen vil da variere i takt med inngangssignalet, og signalet vil gå videre gjennom forsterkeren slik som beskrevet tidligere.

Dersom du har gjennomført øvelsen RC-filtre, vil du se at kondensatoren C_1 sammen med resultatresistansen av R_2 og base-emitter resistansen, vil utgjøre et høypassfilter. Signal med frekvenser over grensefrekvensen til dette filteret slipper gjennom uten særlig demping, mens signal med lavere frekvenser (inkludert DC) blir dempet betraktelig.

Når signalet endelig er blitt omdannet til spenningsvariasjoner på kollektor, har vi et nytt problem. Dersom vi koblet kollektor direkte til en "last" (det vi belaster kretsens utgang med, R_L i figur 7), ville likespenningen på kollektor kunne bli svært så variabel alt etter hvor stor resistans lasten hadde. Vi kobler derfor inn kondensatoren C_2 slik at arbeidsspenningen for kollektor skal være uavhengig av lastens resistans. Spenningsvariasjonene på kollektor vil imidlertid forplante seg gjennom kondensatoren mer eller mindre uhemmet (avhenger av frekvensen til signalet), og utgangen vil derfor svinge omtrent like mye som kollektorspenningen.

Men hva blir gjennomsnittsverdien for svingningene på utgangen? Lasten R_L sørger for at utgangen blir liggende på 0V dersom det ikke går noe signal gjennom forsterkeren. Den sørger også for at svingningene vil skje omkring 0V når det er signal tilstede (gjennomsnittsverdien blir 0V).

Igjen, dersom du har hatt øvelsen om RC-filtre fra før, vil du se at kondensatoren C_2 sammen med lastmotstand, vil danne et høypassfilter. Signal med frekvenser under grensefrekvensen vil bli kraftig dempet, mens signal med høyere frekvenser vil slippe gjennom uhindret.

"Tekniske data" for forsterkere.

Når en skal fortelle hvilke forhold en forsterker skal brukes under, og hvor god forsterkeren er, må en gi noen spesifikasjoner, eller "tekniske data". Vi skal bare forklare noen få uttrykk som brukes. Du skal selv bestemme et par slike parametre for din forsterker i denne øvelsen.

For alle forsterkere og forsterkertrinn er det gjerne tre forskjellige egenskaper som er av stor interesse, *forsterkning*, *linearitet*, og *frekvensgang* eller *båndbredde*. Hva menes så med disse uttrykkene?

Forsterkning.

Forholdet mellom utgangsspenningen V_{ut} og inngangsspenningen V_{inn} kalles forsterkningen, $F = V_{ut}/V_{inn}$. Ofte angis F i en logaritmisk skala (desibelskala). Husk at V_{ut} og V_{inn} er vekselspenninger, og må angis f.eks. som amplitudeverdier eller peak-to-peak verdier.

Linearitet

For at utgangssignalet skal være likedannet med inngangssignalet, må utgangsspenningen være proporsjonal med inngangsspenningen. En grafisk fremstilling som viser utgangsspenningen V_{ut} som funksjon av inngangsspenningen V_{inn} er da en rett linje. Stigningsforholdet for denne linjen gir oss forsterkningen F . Dersom vi øker inngangsspenningen tilstrekkelig, kommer vi til slutt til et område hvor utgangsspenningen øker relativt langsommere enn inngangsspenningen, eller ikke øker i det hele tatt. Vi sier da at forsterkeren er *overstyrt*. For vår forsterker ser vi at kollektorspenningen ikke kan bli høyere enn V_s og ikke lavere enn 0V. For store inngangsspenninger vil vi derfor se (på oscilloskopet) at utgangssignalet blir forvrengt og at toppene og/eller bunnene i et harmonisk signal blir avflatet eller avkuttet. Den grafiske fremstilling av V_{ut} som funksjon av V_{inn} vil få en knekk på den rette linjen. I en høyttaler vil vi høre det som ulyd.

Frekvensgang og båndbredde

For ethvert valg av komponenter er en forsterker "god" bare innenfor et visst frekvensområde. Ved frekvenser som er høyere eller lavere vil f.eks. forsterkningen variere med frekvensen. En kurve som fremstiller forsterkningen som funksjon av frekvensen ved konstant inngangsspenning kalles gjerne for forsterkerens frekvenskurve eller *frekvensgang*. Den forsterkeren du skal lage vil kanskje være brukbar i området fra ca. 300 Hz til 300 kHz. Det er vanlig å bruke logaritmiske akser når en angir frekvensgangen. I denne øvelsen velger vi for enkelthets skyld å bruke halvlogaritmisk fremstilling med frekvensen som abscisse (x-akse) i logaritmisk skala, og forsterkningen som ordinat (y-akse) i lineær skala.

Oppgave 3 : Testing av arbeidsspenninger.

Du startet opploddingen av denne forsterkeren som en loddeøvelse i Oppgave 2. Da loddet du inn "printspydene" som skal tjene som tilkoplingspunkter for drivspenning og signal inn og ut, og du loddet inn de tre motstandene i base- og kollektorkretsene. Nå skal du slutføre oppkoblingen ved å lodde transistoren og kondensatorene på plass der dette er vist på printkortet.

Når du har loddet alle komponentene på plass på kortet skal du teste at arbeidsspenningene er tilfredsstillende. Du kobler forsterkerkretsen til en 12V spenningskilde. *Signalgenerator skal foreløpig ikke kobles til.* Du skal måle base-emitter spenningen (her lik basespenningen), og kollektorspenningen. Arbeidsspenningene måles med et multimeter innstilt for likespenning (eller ved å bruke oscilloskopet i DC funksjon).

Vi vet at base-emitter spenningen må ligge mellom 0.5 og 0.7V for at det skal gå strøm gjennom transistoren. Når vi skal justere arbeidsspenningen er det imidlertid lettest å ta utgangspunkt i spenningen på kollektor. Spenningen her er nemlig kritisk avhengig av kollektorstrømmen, som i sin tur avhenger av basestrømmen og da også base-emitter spenningen. Grovt sett velger vi gjerne arbeidspunktet slik at spenningen på kollektor blir liggende midt mellom 0 og V_s (dvs. ved 6V dersom $V_s=12V$).

Dersom kollektorspenningen V_k er mellom 5 og 7V, kan du være fornøyd med arbeidspunktet. Noter dem (V_{be} og V_k) i journalen din, og fortsett med neste oppgave.

Dersom V_k ikke ligger i intervallet 5 til 7V, må spenningsdeleren R_{b1} og R_{b2} justeres. Er imidlertid V_k under 1V eller over 11V, bør du kontakte en veileder. Da er det antakelig en mer alvorlig feil.

Spenningsdeleren justeres ved at du lodder en ekstra resistans i parallell med enten R_{b1} eller R_{b2} . Det er satt av plass på printkortet for en slik ekstra motstand (merket henholdsvis R1 eller R2). Framgangsmåten er da som følger:

- Dersom kollektorspenningen er lavere enn 5V, betyr det at det går for stor strøm gjennom transistoren. Spenningen på basen er da for høy. For å senke basespenningen litt, må resistansen R_{b2} i figur 7 reduseres. Forsøk å koble inn en motstand som er ca. 10 ganger større enn R_{b2} (det vil si 18 k Ω) i parallell med denne. Stikk da bena på den nye motstanden inn under bena på R_{b2} som allerede er loddet fast. Dette gjør du mens

spenningen og multimeter er tilkoblet, slik at du lett kan se hva kollektorspenningen nå blir. Kommer den innenfor 5 til 7V, er parallellresistansen velegnet. Den loddes da fast på det stedet som er avsatt for denne, og du kan fortsette til neste oppgave. (Pass på at du kobler fra spenningskilden mens du lodder på printet.) Dersom motstanden ikke passer, må du forsøke andre verdier. Får du problemer med justeringen, må du ta kontakt med en veileder.

- Dersom kollektorspenningen i den opprinnelige oppkoblingen er høyere enn 7V, betyr det at det går for liten strøm gjennom transistoren. Spenningen på basen er da for lav. For å heve basespenningen litt, må resistansen R_{b1} i figur 7 reduseres. Forsøk å koble en motstand som er ca. 10 ganger større enn R_{b1} (det vil si 270k Ω) i parallell med denne. Bruk samme prosedyre som ovenfor, med å stikke bena på motstanden under bena på R_{b1} mens du måler V_k . Oppnår du nå at V_k er innenfor 5 til 7V, er parallellresistansen velegnet. Den loddes da fast på det stedet som er avsatt for denne, og du kan fortsette til neste oppgave.

Husk å angi i journalen også arbeidsspenningene du hadde før en eventuell justering og hvilke motstandsverdier du måtte sette inn for å få tilfredsstillende arbeidsspenninger.

Oppgave 4: Forsterkerens frekvenskarakteristikk.

Du skal nå bruke forsterkeren til å forsterke et vekselspenningssignal, og måle forsterkningen for en rekke forskjellige frekvenser. Ved å plote forsterkning mot frekvens, får du frem forsterkerens frekvenskarakteristikk.

I resten av øvelse skal du bruke funksjonsgeneratoren BK PRECISION 3040.

Koble inn funksjonsgeneratoren til inngangen på forsterkeren, og bestem ved hjelp av et oscilloskop amplituden på signalet som sendes inn og det som kommer ut av kretsen. (Spenningskilden på 12V må fortsatt være innkoblet.)

Funksjonsgeneratoren stilles til ca. 10 kHz harmonisk signal med en *meget* liten amplitude (*omkring 10-20 mV*). Det lønner seg å stille funksjonsgeneratoren på -40dB attenuering. Bruk dessuten et BNC T-ledd på utgangen av funksjonsgeneratoren, slik at du kan bruke en coax kabel mellom funksjonsgeneratoren og oscilloskopet. Du får da mindre problemer med støy når du bruker coax kabel på det svake inngangssignalet, enn om du bare bruker uskjermede ledninger.

Variér så inngangsspenningen V_{inn} slik at amplituden på *utgangssignalet*, V_{ut} , blir ca. 3 V (6 V peak-to-peak). Utgangssignalet skal da være en temmelig ren sinuskurve.

For denne amplituden på inngangssignalet skal så forsterkningen $F = V_{ut}/V_{inn}$ bestemmes for frekvensene 30 Hz, 100 Hz, 300 Hz, ..., 3 MHz og 10 MHz (i alt 12 målinger). Sett resultatene opp i vedlagte tabell. (Du kan gjerne bruke peak-to-peak verdier, det sparer tid.) Bruk GATE-knappen på funksjonsgeneratoren for å få tilfredsstillende nøyaktighet i frekvensavlesningene, spesielt ved lave frekvenser.

Fremstill resultatet med frekvensen som abscisse (x-akse) i logaritmisk skala og med forsterkningen F som ordinat (y-akse) i lineær skala. Du skal *ikke* bruke logaritme**p**apir denne gangen, men lage din egen logaritmeskala på et millimeterpapir.

Du gjør dette ved å ta den Briggske logaritme til frekvensene, og får da verdier mellom 1 og 7. Fordel disse på vanlig måte langs x-aksen på et millimeterpapir (f.eks. ved å velge 4 cm pr. logaritme-enhet). På aksene kan du da skrive "Log(frekvens)" og bruke tallene du fant (mellom 1 og 7). Vi foretrekker likevel at du skriver teksten "Frekvens (Hz)", og at du langs aksene skriver 10^1 , 10^2 , 10^3 osv. på de stedene der logaritmen er 1, 2, 3 osv. Diagrammet vil da bli organisert på samme måte som om vi hadde et virkelig logaritme**p**apir. Be om veiledning dersom du lurer på hva vi mener.

Når vi skal vurdere hvor god en forsterker er til å forsterke alle frekvenser like mye, tar vi utgangspunkt i øret vårt. Den minste forandring i lydnivå som øret kan oppfatte er ca. 3 decibel (dB). Derfor sier man at forsterkeren forsterker alle frekvenser "likt" (for øret) hvis forsterkningen for disse frekvensene ikke avviker mer enn 3 dB i et frekvensområde.

For de som ikke er kjent med decibelskalaen, skal vi gjengi det aller nødvendigste her (se også figur 9). Decibelskalaen er en logaritmisk skala. Dersom forsterkningen ved frekvensen f_1 er F_1 og forsterkningen ved frekvensen f_2 er F_2 er forholdet mellom disse forsterkningene, målt i decibel (dB), gitt som:

$$\text{Forsterkningen ved } f_2 \text{ relativt til } f_1 \text{ (i dB)} = 20 \log(F_2/F_1) \quad (1)$$

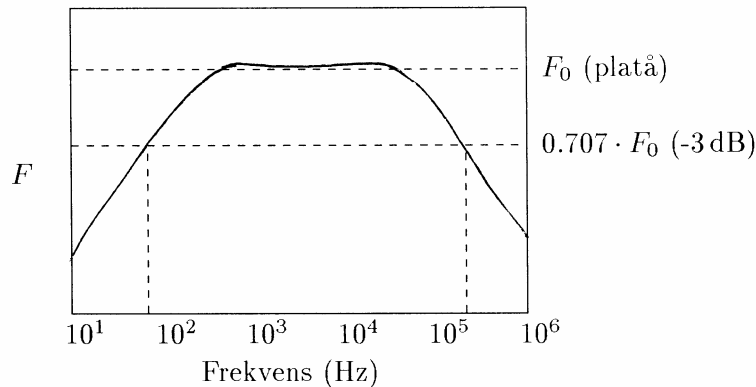
Dersom vi derfor søker frekvenser der forsterkningen har sunket 3dB relativt til platåverdien, må dermed:

$$20 \log(\text{Forsterkning v. } -3 \text{ dB} / \text{Forsterkning v. max}) = -3 \quad (2)$$

det vil si:

$$(\text{Forsterkning v. } -3 \text{ dB}) = (\text{Forsterkning v. max}) \cdot 0.707 \quad (3)$$

I frekvenskarakteristikken du nettopp har laget vil du se at forsterkningen for et visst frekvensområde er forholdsvis konstant. For å bestemme forsterkerens frekvensområde tar du utgangspunkt i dette "platået", finner den maksimale forsterkning innen dette, og beregner forsterkningen som er -3 dB i forhold til denne verdien.



Figur 9: Definisjon av 3 dB frekvensområdet for en forsterker. F angir forsterkningen.

Merk av på frekvenskarakteristikken din det frekvensområdet der forsterkningen ligger innenfor 3 dB. Forsøk å kommentere resultatet.

Er forresten spenningsforsterkningen i din krets den samme eller forskjellig fra transistorens strømforsterkningsfaktor som du fant i forrige ukes øvelse.

Oppgave 5 : Forsterkning som funksjon av inngangsspenningen.

Som sagt innledningsvis har enhver forsterker en øvre grense for hvilket maksimums-signal den kan gi på utgangen. Det vil i praksis si at inngangssignalet ikke kan overskride en viss grense før forvrengning oppstår på utgangen. I denne oppgaven skal du finne hvilken inngangsspenning som din krets tåler før forvrengning inntreffer, og du vil se hvorfor vi bruker ordet "forvrengning" om det som skjer ved større signal.

Bruk forsterkeren du har loddet opp. Frekvensen skal være ca. 3 kHz. Mål utgangsspenningen V_{ut} som funksjon av inngangsspenningen V_{inn} når V_{inn} varieres fra nær null til ca. to ganger den spenningen der utgangssignalet blir helt tydelig forvrengt. Det er igjen viktig at du bruker et BNC T-ledd på funksjonsgeneratoren og coax mellom funksjonsgeneratoren og oscilloskopet når V_{inn} skal bestemmes.

Du vil kanskje finne at signalet selv for lave amplituder ikke er en perfekt sinus. Dette er ikke en alvorlig forvrengning. Ved kraftig forvrengning er du ikke i tvil!

Fremstill resultatet grafisk med V_{inn} som abscisse (x-akse) på millimeterpapir. Bruk diagrammet til å bestemme den maksimale inngangsspenningen man kan ha uten at forsterkeren blir overstyrt. Angi denne spenningen i journalen din, og merk av i diagrammet det området der det er liten forvrengning og der det er stor.

Hva er den maksimale utgangsspenningen (peak-to-peak) forsterkeren kan gi? Kan du forklare hvorfor?

Du kan kjøpe med deg forsterkeren som en souvenir fra labben. Vi tar 10 kr for den, for å dekke *litt* av materialutgiftene.

Utstysrliste:

To stk. Fluke~75 multimeter

Et stk. Fluke~25 multimeter

Tektronix Oscilloskop **2205** (IKKE 2225 – som er mer følsomt for høyfrekvent støy)

Funksjonsgenerator, Topward TFG 8112 (med **ikke jordet nettkabel**)

Funksjonsgenerator (BK Precision 3040)

Spenningskilde 0-15V

Spenningskilde 12 V

Transistor, BC 338-16 N

Holder for transistorer

Motstand 1 k Ω på perspekskloss

Motstand 220 k Ω på perspekskloss

Printkort (*med påloddede komponenter fra Øvelse 2*)

Loddebolt, loddetinn

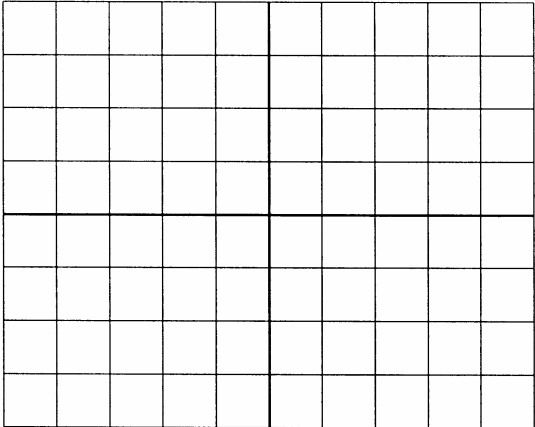
Spesial-ledninger for lett overgang mellom bananstikk og printspyd

BNC T-ledd

Coax kabel

3 stk BNC - bananstikk overganger

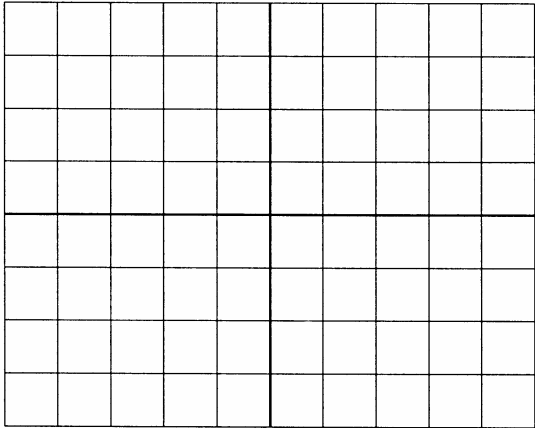
mm-papir



Signal:

V/div (Ch1):

V/div (Ch2):



Signal:

V/div (Ch1):

V/div (Ch2):