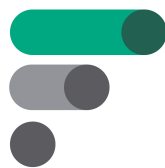


Elektroniske systemer

Øvingsoppgaver for analoge komponenter og måleteknikk i
emnet elektroniske systemer

Carl Magnus Bøe

6. mai 2025



Fagskolen
Viken

Fagskolen Viken
01TE00X EITKELFHXX - Emne 5
Fredrikstad

Innhold

1	Introduksjon	2
1.1	Bakgrunnsinformasjon	2
1.2	Oppbygning av kompendiet	2
2	Analoge komponenter	3
2.1	Dioder	3
2.1.1	Lysdioder - LED	3
2.1.2	Oppgaver	3
2.1.3	Løsningsforslag	12
2.2	Tyristor, triac og diac	21
2.2.1	Oppgaver	21
2.2.2	Løsningsforslag	24
2.3	Transistor - BJT	27
2.3.1	Oppgaver	27
2.3.2	Løsningsforslag	32
2.4	Forsterkning	36
2.4.1	Oppgaver	36
2.4.2	Løsningsforslag	38
2.5	Operasjonsforsterker	42
2.5.1	Oppgaver	42
2.5.2	Løsningsforslag	50
3	Måleteknikk	54
3.1	Måleusikkerhet	54
3.1.1	Absolutt Usikkerhet	54
3.1.2	Relativ Usikkerhet	54
3.2	Oppgaver	54
3.3	Løsningsforslag	56
4	Referanser	59
A	LED Datasheet	60
B	OpAmp - TL08xx	64

1. Introduksjon

Dette kapitlet inneholder generell informasjon om kompendiet, bakgrunn for arbeidet, oppbygging av dokumentet og lisensinformasjon.

1.1 Bakgrunnsinformasjon

Dette dokumentet er et kompendium som inneholder øvingsoppgaver relevante for delen analoge komponenter i emnet elektroniske systemer. Siden dokumentet blir kontinuerlig revidert, er det datomerkingen på forsiden som angir versjonen av dokumentet. Målet med dette dokumentet er å samle alle øvingsoppgaver sammen med løsningsforslagene i ett dokument.

Når man jobber med oppgavene, anbefales det at man også gjør simuleringer i CircuitMaker eller lignende program.

Dersom du har kommentarer, forslag til oppgaver eller har funnet noe som er feil, vennligst send en epost til carlbo@afk.no.

1.2 Oppbygning av kompendiet

Kompendiet er delt opp i hovedgrupper, hvor undergrupper som for eksempel forskjellige elektroniske komponenter er beskrevet som seksjoner. For hver seksjon presenteres først alle oppgavene, før løsningsforslaget blir presentert i neste seksjon.

2. Analoge komponenter

2.1 Dioder

Dette kapitlet inneholder oppgaver relatert til halvleder dioder. Om ingenting annet er gitt i oppgaven så antar vi et ideelt spenningsfall over dioden på $0,7[V]$.

2.1.1 Lysdioder - LED

Lysdioder har forskjellige spenningsfall for samme farge avhengig av modellserie og produsent. For optimal verdi må man lese databladet til dioden.

Tabell 2.1 viser et generelt spenn av verdier.

Tabell 2.1: Spenningsfall for forskjellige lysdioder

Farge	Spenningsfall	Enhet
Hvit	$3,0 - 5,0$	$[V]$
Fiolett:	$2,8 - 4,0$	$[V]$
Blå:	$2,5 - 3,7$	$[V]$
Grønn:	$1,6 - 4,0$	$[V]$
Gul:	$2,0 - 2,4$	$[V]$
Oransje:	$2,0 - 2,1$	$[V]$
Rød:	$1,5 - 2,0$	$[V]$
Infrarød:	$1,2 - 1,9$	$[V]$

2.1.2 Oppgaver

Dioder

Oppgave 1.

Tegn symbolene for følgende komponenter.

- i) Halvlederdiode
- ii) LED
- iii) Zenerdiode

Oppgave 2.

Hva betyr de følgende begrepene i sammenheng med dioder? Svar på spørsmålet og tegn eksempel.

- i) Lederetning
- ii) Sperreretning
- iii) Anode
- iv) Katode
- v) Zenerspenning

Oppgave 3.

Beskriv tre bruksområder for en halvlederdiode.

Oppgave 4.

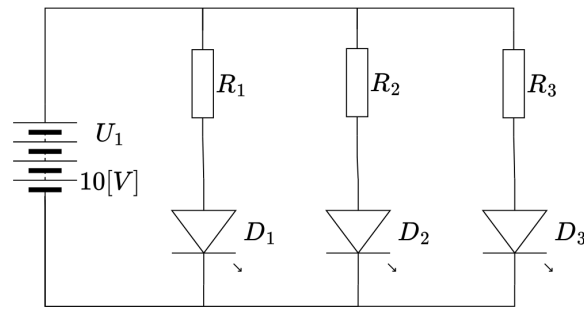
En LED har et spenningsfall i lederetning på $2,5[V]$ og det kreves en strøm på $15[mA]$ for at den skal lyse. Den tilkoblede spenningskilden har en spenning ut på $15[V]$.

Beregn størrelsen på seriemotstanden til dioden.

Oppgave 5.

Diodene D_1 , D_2 og D_3 er helt identiske og koblet i parallell som vist i Figur 2.1. Spenningsfallet over diodene i lederetning skal være $2,5[V]$ og strømmen skal være $14[mA]$.

- i) Finn verdien for R_1 , R_2 og R_3 .
- ii) Benytt Tabell 2.1 og finn ut hvilken farge diodene mest sannsynlig har.



Figur 2.1: LED i parallell

Oppgave 6.

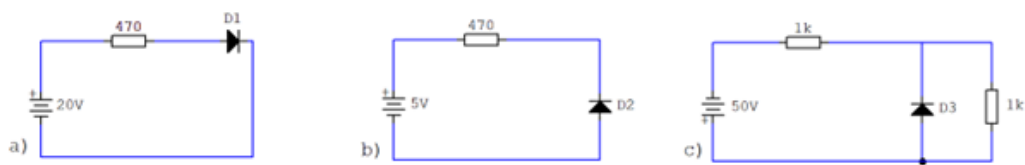
Beregn seriemotstandverdien for en LED basert på databladet presentert i Vedlegg A. Dioden skal drives av en kilde som har følgende spenning $U_{kilde} = 9[V]$.

Oppgave 7.

En likeretterdiode har et spenningsfall på $0,7[V]$ over seg i lederetning. Hvor stor effekt omsettes det i dioden når strømmen er $2[A]$?

Oppgave 8.

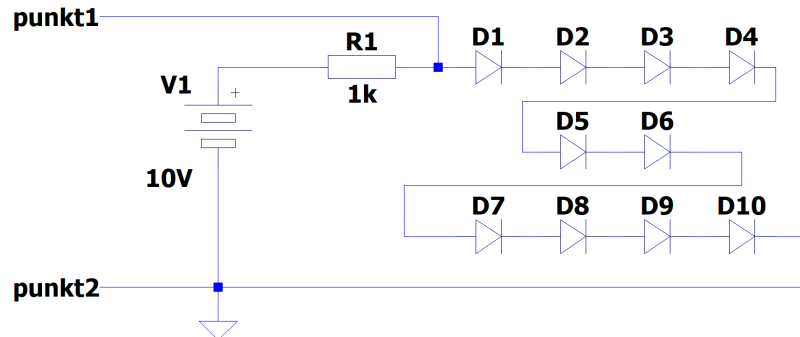
Hvilken av kretsene vist i Figur 2.2 er koblet slik at dioden står i lederetning?



Figur 2.2: Tre forskjellige diodekretser

Oppgave 9.

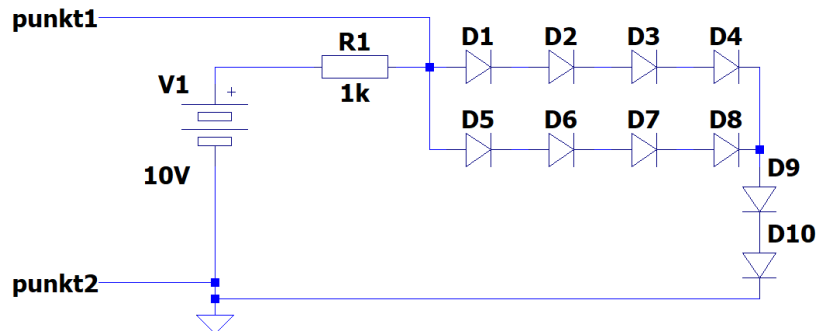
Hvilken spenning vil man måle mellom punkt1 og punkt2 i Figur 2.3.



Figur 2.3: Krets med 10 dioder i serie

Oppgave 10.

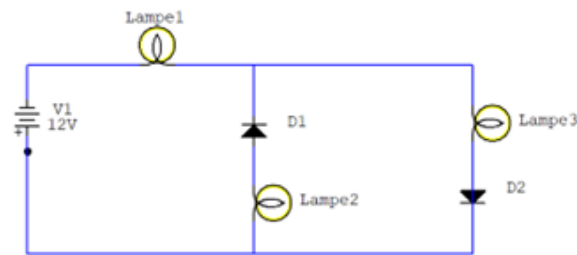
Hvilken spenning vil man måle mellom punkt1 og punkt2 i Figur 2.4



Figur 2.4: Krets med dioder i serie og parallell

Oppgave 11.

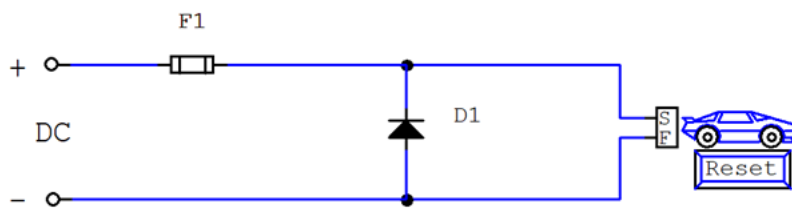
Hvilke lamper lyser i Figur 2.5?



Figur 2.5: Lampekrete

Oppgave 12.

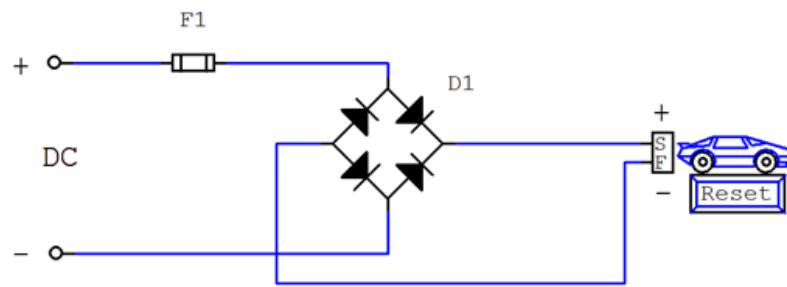
Din elektriske sportsbil får tilført en likespenning fra en hurtiglader som vist i Figur 2.6. Hva skjer dersom likespenningen fra spenningskilden blir koblet til med feil polaritet?



Figur 2.6: Enkel ladekrete med sikring

Oppgave 13.

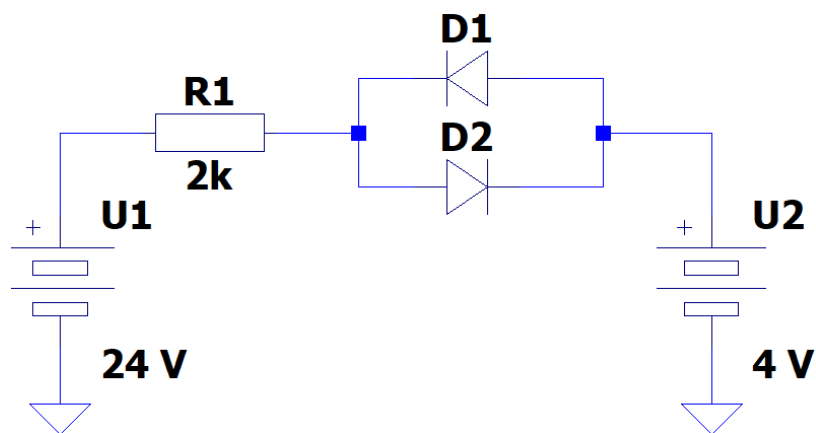
Din elektriske sportsbil får tilført en likespenning fra en nå oppgradert hurtiglader sammenlignet med løsningen vist i Figur 2.6. Hva skjer nå dersom spenningskilden blir koblet med feil polaritet på den nye laderen som vist i Figur 2.7?



Figur 2.7: Ladekrets med brolikeretter

Oppgave 14.

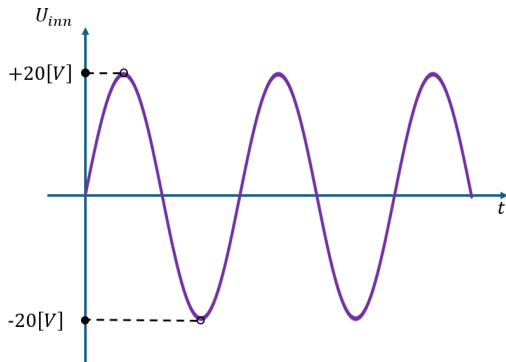
Beregn strømmen i kretsen som er vist i Figur 2.8.



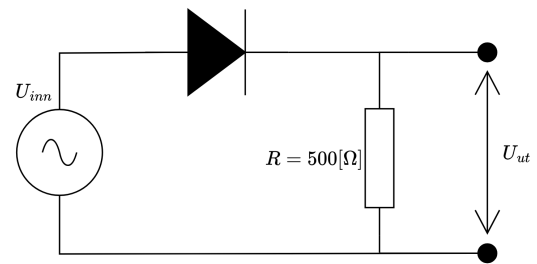
Figur 2.8: Diodekrets med to kilder

Oppgave 15.

Gitt det påtrykte signalet vist i Figur 2.9, beregn den maksimale strømmen og spenning for kretsen vist i Figur 2.10.



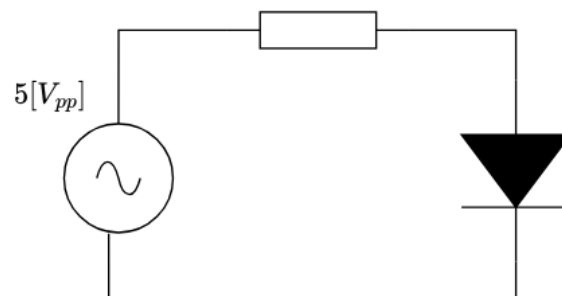
Figur 2.9: Signal på inngangen



Figur 2.10: Enkel diodekrets

Oppgave 16.

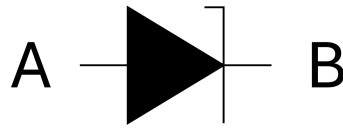
Tegn hvordan spenningen over dioden i Figur 2.11 endrer seg med tiden for to hele perioder.



Figur 2.11: Enkel diodekrets

Zenerdioder**Oppgave 17.**

Hvilken side er katode, og hva heter den andre siden vist i Figur 2.12.



Figur 2.12: Symbol for Zenerdiode

Oppgave 18.

- i) Hva er den viktigste begrensingen i bruk av zenerdiode i en krets?
- ii) Hvordan kan man beskytte en zenerdiode mot overbelastning?

Oppgave 19.

En zenerdiode er merket $6V2/3W$. Hva er den maksimale strømmen zenerdioden kan tåle?

Oppgave 20.

En likespenning som varierer mellom $18[V]$ og $24[V]$ skal benyttes for å generere en stabil likespenning på $7,5[V]$. Kretsen skal benytte en zenerdiode som tåler en effekt på maksimalt $4[W]$.

- i) Tegn opp kretsen
- ii) Beregn den minste verdien seriemotstanden kan ha
- iii) Beregn størrelsen på strømmen det maksimalt kan trekkes fra den stabiliserte spenningen på utgangen, før utgangspenningen avviker fra $7,5[V]$

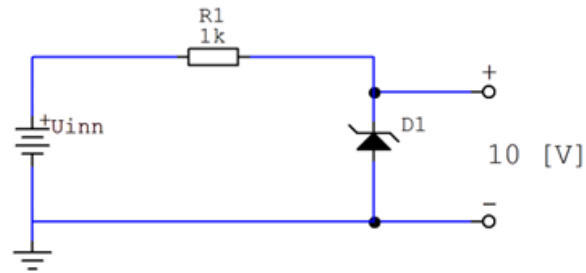
Oppgave 21.

Kretsen vist i Figur 2.13 viser en zenerdiodekrets konstruert for å holde spenningen ut stabil på $10[V]$. I følge databladet til zenerdioden har den følgende data:

$$I_{Zen_{min}} = 4[mA]$$

$$I_{Zen_{maks}} = 40[mA]$$

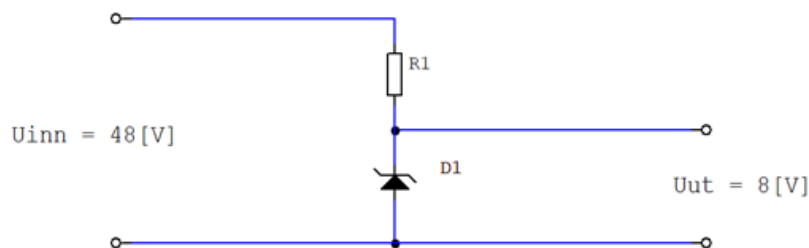
- i) Beregn den maksimale spenningen for U_{inn}
- ii) Beregn den minste spenningen for U_{inn}



Figur 2.13: Krets for spenningsstabilisering

Oppgave 22.

Zenerdioden vist i Figur 2.14 tåler en effekt på $5[W]$. Beregn den minste verdien serieresistansen R_1 kan ha for at ikke zenerdioden skal bli utsatt for høyere effekt enn merkeverdien.

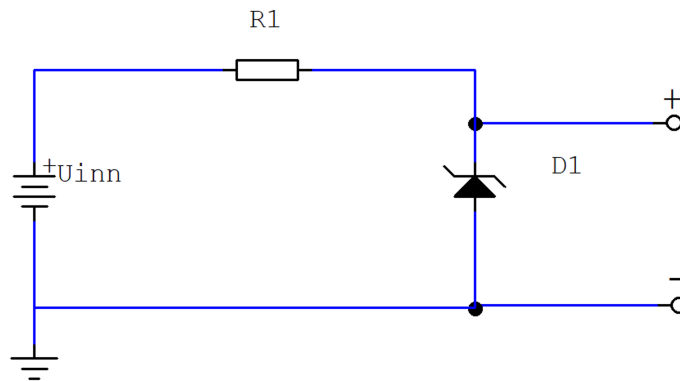


Figur 2.14: Krets for spenningsstabilisering

Oppgave 23.

Zenerdioden i kretsen som vist i Figur 2.15 har en zenerspenning på $5,1[V]$. Zenerdioden er koblet i serie med en motstand på $33[\Omega]$. Spenningen ut fra kilden U_{inn} varierer mellom $9[V]$ og $10[V]$.

Finn den minste effekten zenerdioden må tåle.

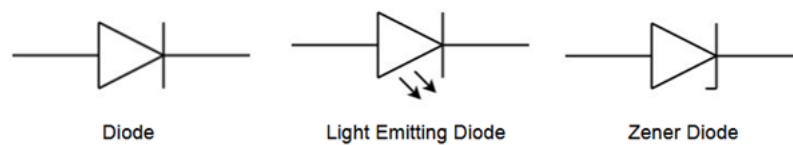


Figur 2.15: Krets for spenningsstabilisering

2.1.3 Løsningsforslag

Løsningsforslag oppgave 1.

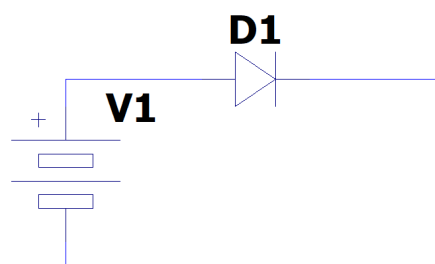
Symboler vist i Figur 2.16.



Figur 2.16: Eksempel på forskjellige symboler for dioder.

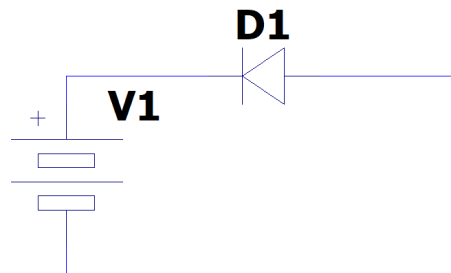
Løsningsforslag oppgave 2.

- i) Diode koblet slik at den leder strøm



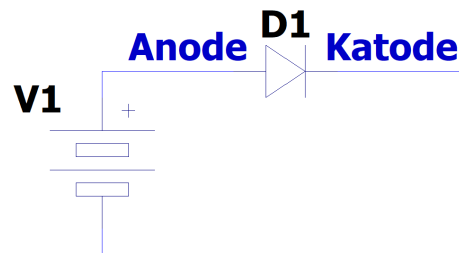
Figur 2.17: Diode koblet i lederetning

- ii) Diode koblet slik at den ikke leder strøm



Figur 2.18: Diode koblet i sperreretning

- iii) Anode er siden så hvis man kobler den til den positive siden av en kilde, så vil dioden lede. Strømmen går fra anode til katode



Figur 2.19: Anode og katode på diode

- iv) Dersom dioden leder er katoden koblet til den negative siden av kilden som vist i Figur 2.19
- v) Zenerspenning er spenningen hvor en zenerdiode begynner å lede strøm i sperreretning, og kan stabiliserer spenningen i kretsen.

Løsningsforslag oppgave 3.

- i) Sperre for strøm i én retning
- ii) For å beskytte transistorer og andre følsomme komponenter, kobles dioden som en friløpsdiode når den brukes sammen med en induktiv last.
- iii) Likerette AC til DC

Løsningsforslag oppgave 4.

Først finner vi spenningsfallet vi må ha over motstanden for at dioden skal ha et spenningsfall på 2,5[V].

$$U_{R-serie} = U_{Kilde} - U_{LED} = 15 - 2,5 = 12,5[V]$$

Finner størrelsen på resistansen som sørger for maksimal strøm på 15[mA].

$$R_{Serie} = \frac{U_{R-serie}}{I_{LED}} = \frac{12,5}{15 \cdot 10^{-3}} = 830[\Omega]$$

Løsningsforslag oppgave 5.

- i) Siden alle de tre parallelle grenene er identiske kan vi gjøre beregninger på én av de siden spenningen og den nominelle strømmen er lik for alle grenene.

Velger grenen nærmest kilden og finner ønsket spenningsfallet over motstanden.

$$U_{R_1} = U_1 - U_{D_1} = 10 - 2,5 = 7,5[V]$$

Finner motstandsverdien som sørger for at spenningsfallet blir 7,5[V]

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_{D_1}} = \frac{7,5}{14 \cdot 10^{-3}} \approx 536[\Omega]$$

- ii) Dioden har mest sannsynlig fargen blå.

Løsningsforslag oppgave 6.

Leser av forward voltage $V_f = 2[V]$ @ $I_f = 20[mA]$.

Beregner spenningsfall over seriemotstanden.

$$U_R = U_{kilde} - U_{LED} = 9 - 2 = 7[V]$$

Beregner motstandsverdien

$$R = \frac{U_R}{I_f} = \frac{7}{20 \cdot 10^{-3}}$$

Løsningsforslag oppgave 7.

$$P = U \cdot I = 0,7 \cdot 2 = 1,4[W]$$

Løsningsforslag oppgave 8.

Krets a) og c)

Løsningsforslag oppgave 9.

Summerer opp alle spenningsfallene i kretsen.

$$\begin{aligned} U_{D_{tot}} &= \sum_{i=1}^{10} U_{D_i} = \sum_{i=1}^{10} 0,7 \Rightarrow \\ U_{D1} + U_{D2} + U_{D3} + U_{D4} + U_{D5} + U_{D6} + U_{D7} + U_{D8} + U_{D9} + U_{D10} &\Rightarrow \\ U_{D_{tot}} &= 10 \cdot 0,7 = 7[V] \end{aligned}$$

Løsningsforslag oppgave 10.

Siden spenningsfallet over grenene $D1 \rightarrow D4$ er lik grenen $D5 \rightarrow D8$ kan man summere spenningsfallet over en av de for å finne spenningsfallet frem til anoden av $D9$.

$$U_{D1-D4} = U_{D1} + U_{D2} + U_{D3} + U_{D4} = 4 \cdot 0,7 = 2,8[V]$$

Benytter det beregnede spenningsfallet og legger til spenningsfallet over U_{D9} og U_{D10} .

$$U_{D_{tot}} = U_{D1-D4} + U_{D9} + U_{D10} = 2,8 + 0,7 + 0,7 = 4,2[V]$$

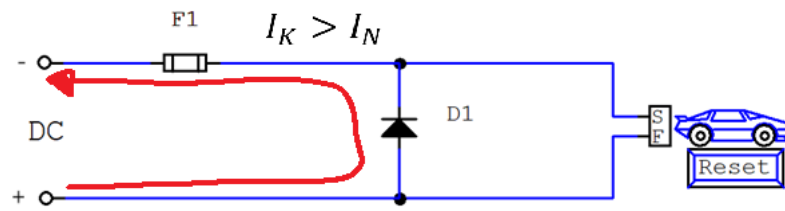
Løsningsforslag oppgave 11.

Med utgangspunkt i spenningskildens polaritet så vil lampe 1 og lampe 2 lyse.

Løsningsforslag oppgave 12.

Under vanlige driftsforhold og korrekt polaritet så vil dioden stå i sperreretning og det vil ikke bevege seg strøm gjennom den. Dersom man kobler feil polaritet som beskrevet i oppgaven så vil dioden befinne seg i lederetning. Siden dioden har en relativt lav motstand i lederetning, og strømmen naturlig velger veien tilbake til den negativ polaritet med minst motstand, som vil strømmen bevege seg gjennom dioden. Strømmen vil være opp mot maksimal kortslutningsstrøm for kilden og \gg^1 enn nominell strøm. Det igjen vil føre til at sikringen løser. Et eksempel er vist i 2.20.

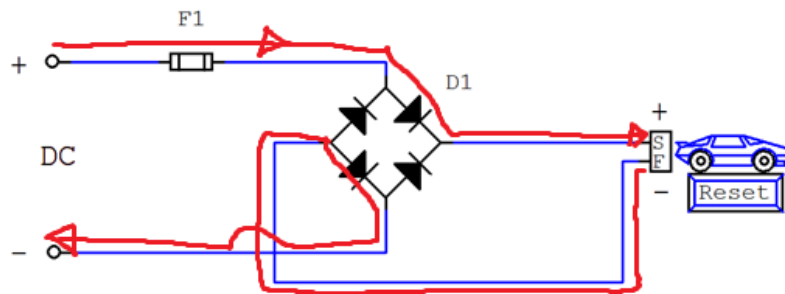
¹Tegnet betyr mye større enn. Eksempel: $9 \cdot 10^9 \gg 1 \cdot 10^{-10}$



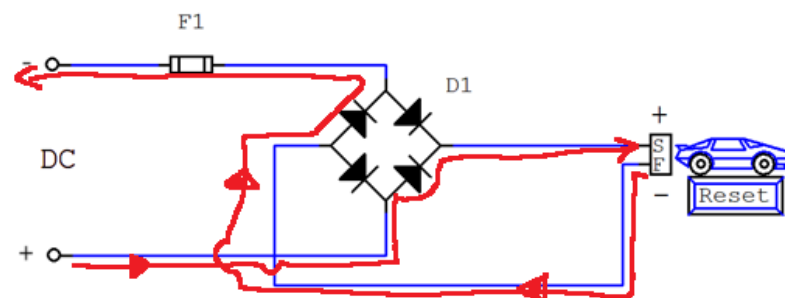
Figur 2.20: Løsning på enkel ladekrets med sikring

Løsningsforslag oppgave 13.

Det skjer ingenting siden bro-likeretteren snur polariteten og sørger for riktig polaritet til bilen. I Figur 2.21 kan man observere retningen på strømmen under nominelle forhold, og i Figur 2.22 kan man observere hva som skjer dersom man bytter polaritet.



Figur 2.21: Løsning på ladekrets under nominelle forhold



Figur 2.22: Løsning på ladekrets med feil polaritet

Løsningsforslag oppgave 14.

Diode $D1$ er koblet i sperreretning og kan betraktes som brudd. Strømmen gjennom R_1 beregnes ut fra kretsens spenningsfall.

$$I_{tot} = \frac{U_1 - U_2 - U_{diode}}{R_1} = \frac{24 - 4 - 0,7}{2 \cdot 10^3} = 9,65[mA]$$

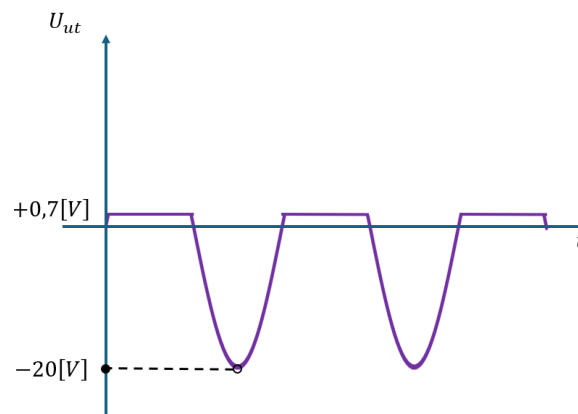
Løsningsforslag oppgave 15.

Beregner maksimale spenningen $U_{ut_{peak}}$

$$U_{ut_{peak}} = U_{inn_{peak}} - U_{diode_{peak}} = 20 - 0,7 = 19,3[V]$$

Finner så den høyeste strømmen i kretsen I_{peak}

$$I_{peak} = \frac{U_{ut_{peak}}}{R} = \frac{19,3}{500} = 38,6[mA]$$

Løsningsforslag oppgave 16.

Figur 2.23: Løsning på enkel diodekrets

Løsningsforslag oppgave 17.

A er anode mens B er katode.

Løsningsforslag oppgave 18.

- i) Zenerdiodens merke-effekt og merkestrøm. Om man går over disse grenseverdiene vil zenerdioden kunne bli skadet.

- ii) Benytte en seriemotstand med korrekt resistans slik at strømmen blir begrenset for å beskytte zenerdioden.

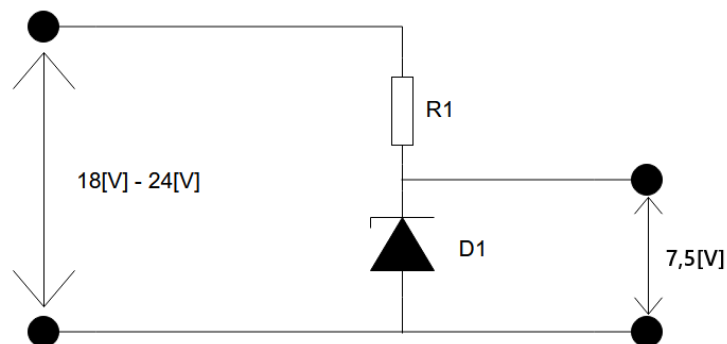
Zenerdiodens merke-effekt og merkestrøm. Om man går over disse grenseverdiene vil zenerdioden kunne bli skadet.

Løsningsforslag oppgave 19.

$$P = U \cdot I \rightarrow I = \frac{P}{U} = \frac{3}{6,2} = 484[mA]$$

Løsningsforslag oppgave 20.

- i) Figur 2.24 viser ett eksempel på hvordan kretsen kan tegnes.



Figur 2.24: Krets for spenningsstabilisering

- ii) Beregner den minste verdien motstanden kan ha slik at strømmen i kretsen ikke blir større enn hva zenerdioden tåler. Starter med å finne den maksimale strømmen dioden tåler.

$$I_{D_{maks}} = \frac{P}{U_{maks}} = \frac{4}{7,5} \approx 0,53[A]$$

Finner minste verdi for serieresistansen som vil resultere i å begrense strømmen i kretsen akkurat slik at zenerdioden ikke arbeider utenfor arbeidsområdet sitt ved maksimal spenning og strøm.

$$R_{min} = \frac{U_{maks}}{I_{maks}} = \frac{24 - 7,5}{0,53} \approx 31[\Omega]$$

- iii) Når strømmen overgår verdien som resulterer i at man overgår effektbegrensingen til zenerdioden, så vil man ikke lenger garantere at zenerdioden klarer å holde spenningen konstant. Den maksimale strømmen har vi alt beregnet.

$$I_{D_{maks}} \approx 533[mA]$$

Løsningsforslag oppgave 21.

- i) Beregn først det største spenningsfallet vi kan ha over resistansen R_1 .

$$U_{R_1} = I_{Zen_{maks}} \cdot R_1 = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3 = 40[V]$$

Beregn så den maksimale spenningen kretsen kan ha på inngangen.

$$U_{inn_{maks}} = U_{R_1} + U_{D_1} = 40 + 10 = 50[V]$$

- ii) Beregn den minste spenningen for U_{inn}

$$U_{R_1} = I_{Zen_{min}} \cdot R_1 = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^3 = 4[V]$$

Beregn så den maksimale spenningen kretsen kan ha på inngangen.

$$U_{inn_{min}} = U_{R_1} + U_{D_1} = 4 + 10 = 14[V]$$

Løsningsforslag oppgave 22.

Finner den totale strømmen som går gjennom kretsen ved merkeeffekt på dioden.

$$I_{D_{maks}} = \frac{P_D}{U_D} = \frac{5}{8} = 0.625 = 625[mA]$$

Finner så verdien motstanden må ha for å begrense strømmen slik at zenerdioden ikke blir utsatt for en effekt over merkeeffekt.

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_{R_1}} = \frac{48 - 8}{0,625} = 64[\Omega]$$

Løsningsforslag oppgave 23.

Verste tilfelle og dimensjonerende verdi blir med maksimal spenning ut fra spenningskilden ved 10[V].

Beregner spenningsfallet over motstanden.

$$U_R = U_{inn} - U_{zen} = 10 - 5,1 = 4,9[V]$$

Beregner strømmen som går i kretsen ved maksimal spenning ut fra spenningskilden.

$$I_{maks} = \frac{U_R}{R} = \frac{4,9}{33} \approx 0,148 = 148[mA]$$

Beregner effekten som blir omsatt under disse forholdene.

$$P_{zen} = U_{zen} \cdot I_{zen} = 5,1 \cdot 150 \cdot 10^{-3} = 765[mW]$$

2.2 Tyristor, triac og diac

2.2.1 Oppgaver

Spørsmål 24.

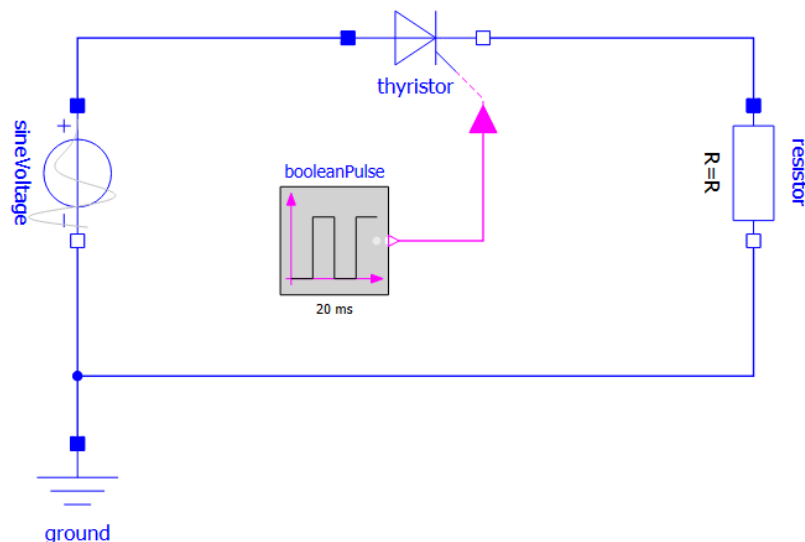
En tyristor kan brukes som bryter. Styrestrømmen til tyristoren kan komme fra en impulsbryter. Hvordan skal strømmen gjennom tyristoren slås av?

Spørsmål 25.

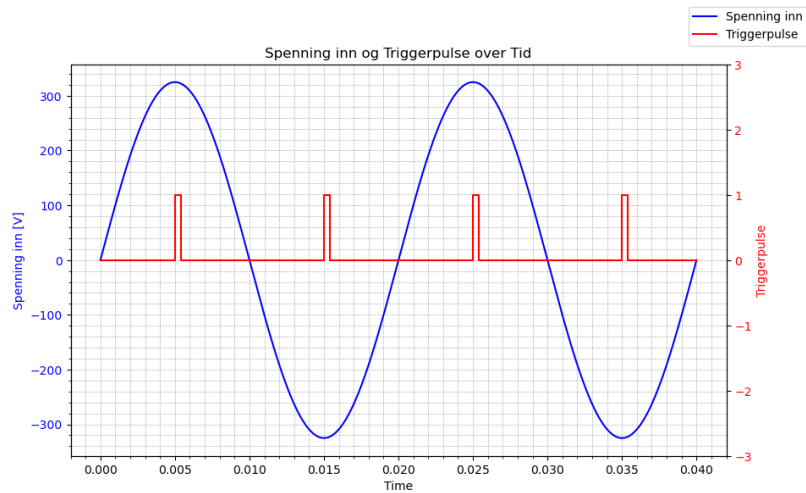
Beskriv hva hovedforskjellen i virkemåten er mellom en tyristor og transistor

Spørsmål 26.

Kretsen som vist i Figur 2.25 viser en spenningskilde koblet til en tyristor, som igjen er koblet til en last angitt som R . Tyristorens gate blir trigget av en puls som vist i 2.26. Tegn hvordan spenningen over lasten R vil endre seg som et produkt av tiden.



Figur 2.25: Tyristor med trigger-signal



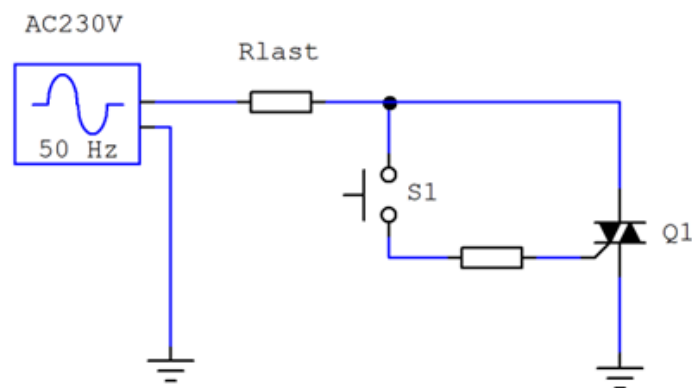
Figur 2.26: Forløp for spenningskilde og trigger-signal

Spørsmål 27.

- i) Hva står TRIAC for?
- ii) Beskriv hva en TRIAC er
- iii) Hva er det viktigste bruksområdene for TRIAC?

Spørsmål 28.

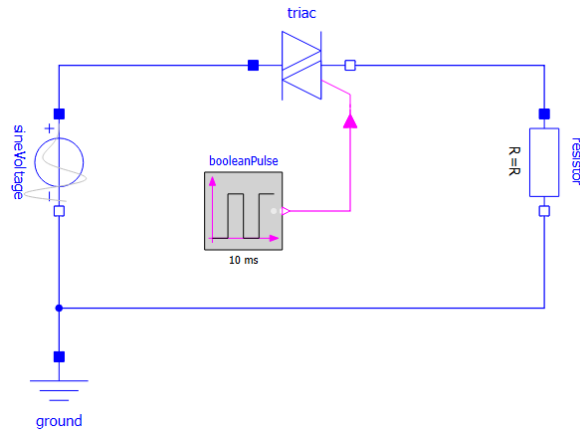
Beskriv funksjon til TRIAC koblingen i kretsen som vist i Figur 2.27.



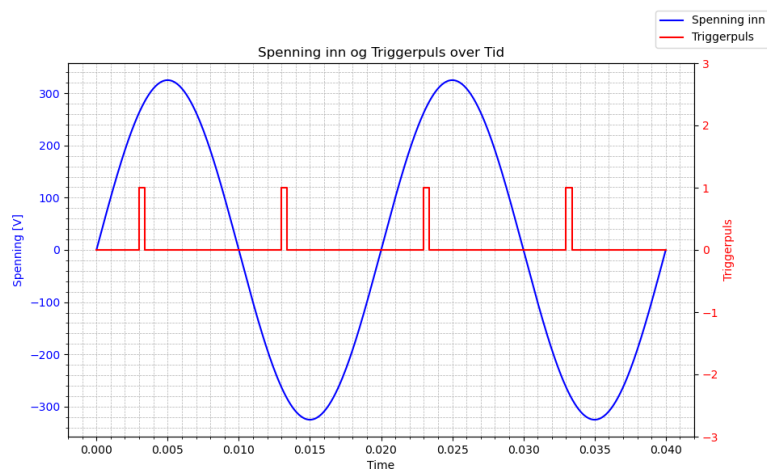
Figur 2.27: TRIAC krets med impulsbryter

Spørsmål 29.

Kretsen som vist i Figur 2.28 viser en spenningskilde koblet til en TRIAC, som igjen er koblet til en last angitt som R . TRIAC-ens gate blir trigget av en puls som vist i 2.29. Tegn hvordan spenningen over lasten R vil endre seg som et produkt av tiden.



Figur 2.28: TRIAC med trigger-signal



Figur 2.29: Forløp for spenningskilde og trigger-signal

Spørsmål 30.

i) Hva står DIAC for?

- ii) Hva er en DIAC?
- iii) Hva er den typiske terskelspenningen for når en DIAC starter å lede?
- iv) Hvor benytter man oftest DIACer?
- v) Hva er forskjellen mellom DIAC og TRIAC

2.2.2 Løsningsforslag

Løsningsforslag 24.

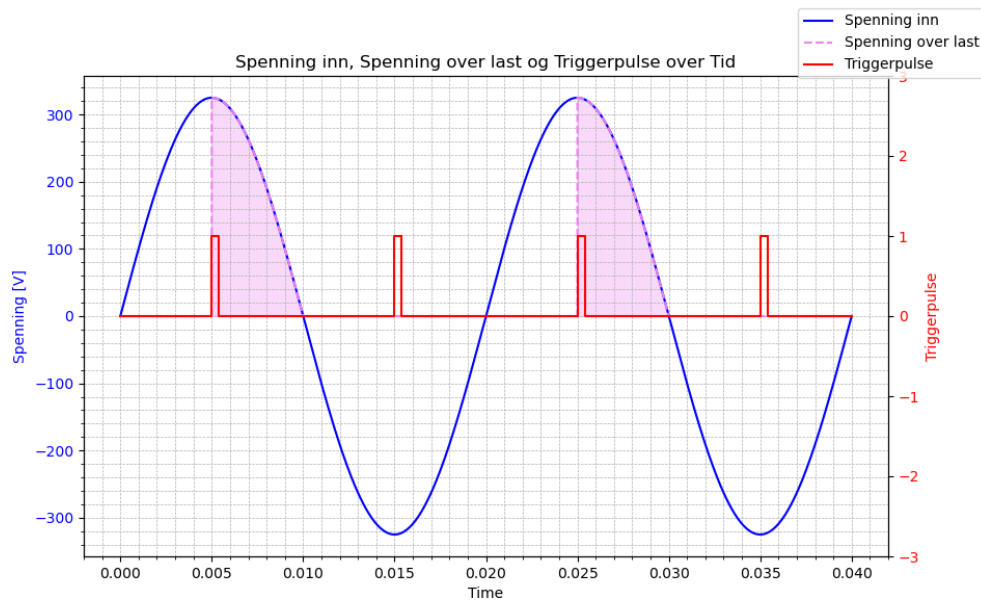
Ved å bryte hovedstrømmen

Løsningsforslag 25.

En tyristor kan kun ha diskrete tilstander, det vil si enten på eller av, mens en transistor kan operere kontinuerlig i mellomliggende tilstander og brukes til å regulere forsterkningen.

Løsningsforslag 26.

I Figur 2.30 kan man se hvordan tyristoren starter å lede kun når den blir trigget i positiv halvperiode. Dette er vist med det lilla arealet. Tyristoren slutter å lede ved nullgjennomgangen og starter ikke å lede før den blir trigget på nytt.



Figur 2.30: Tyristor med trigger-signal og spenning over last

Løsningsforslag 27.

- i) Triode for Alternating Current
- ii) En TRIAC er en halvlederkomponent som kan lede strøm i begge retninger. Den består av to tyristorer koblet i parallell, men i motsatt retning også kalt antiparallell
- iii) TRIAC-er brukes ofte i vekselstrømskretser for å kontrollere strømmen til laster som motorer, lysdimmere og varmeelementer

Løsningsforslag 28.

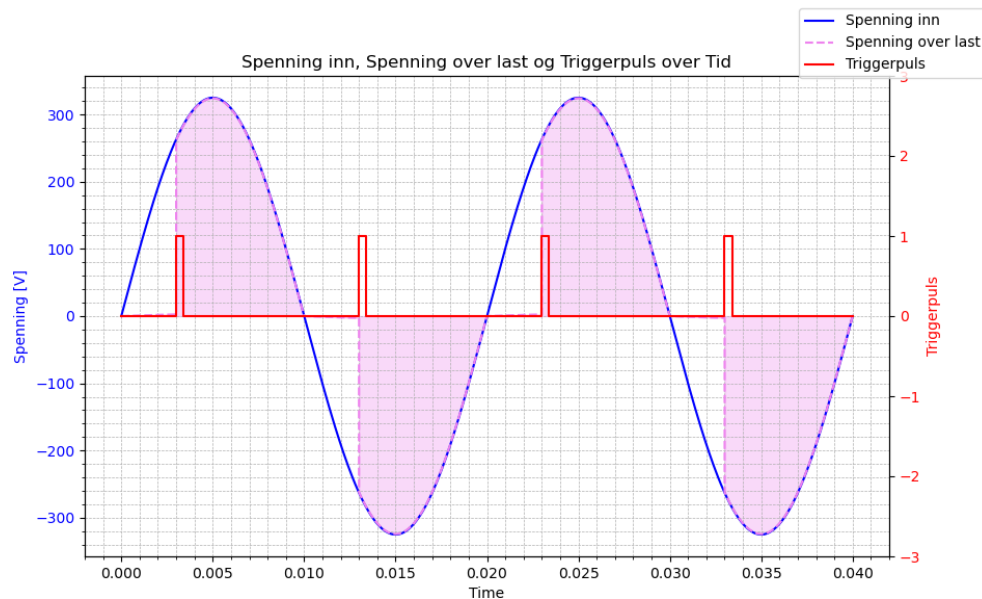
TRIAC koblingen sørger for at man kan styre en større strøm ved hjelp av signal som trekker en mindre strøm.

TRIAC koblingen sørger for at kretsen blir brutt ved nullgjennomgangen som er spesielt fordelaktig når man bryter induktive kretser som potensielt vil kunne generere høy spenning og skade utstyret. Dette oppstår siden spenningen over en induktans er proporsjonal til endringsraten av strømmen gjennom induktansen, som vist i Formel 2.1.

$$U_{ind} = L \cdot \frac{dI_{ind}}{dt} \quad (2.1)$$

Løsningsforslag 29.

I Figur 2.31 kan man se hvordan TRIAC-en starter å lede kun når den blir trigget. Siden en TRIAC er to tyristorer i anti-parallell vil TRIAC-en kunne lede for både positive og negative halvperioder. Dette er vist med det lilla arealet. TRIAC-en slutter å lede ved nullgjennomgangen og starter ikke å lede før den blir trigget på nytt.



Figur 2.31: TRIAC med trigger-signal og spenning over last

Løsningsforslag 30.

- i) Diode for Alternating Current
- ii) DIAC er en halvlederkomponent som kan lede strøm i begge retninger når spenningen over den overstiger en viss terskelverdi
- iii) 30-40 [V]
- iv) I sammenheng med TRIAC-er koblet på gate terminalen for å kompensere for TRIAC-ens naturlige ulikhet når det kommer til å trigge symmetrisk for både positiv og negativ halvperiode. DIAC-en vil holde igjen trigger-signalet til det er på et nivå som fører til at begge delene av TRIAC-en vil starte å lede tilnærmet momentant.

2.3 Transistor - BJT

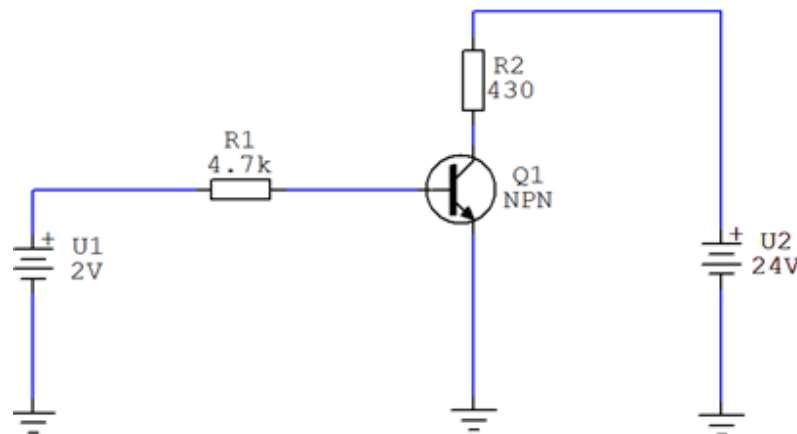
2.3.1 Oppgaver

Oppgave 31.

- Hva heter de tre forskjellige strømmene i en BJT-transistor?
- Hvilken av strømmene i en BJT-transistor er vanligvis den største?
- Hva er forskjellen mellom saturation og cut-off for en transistor?
- Hva beskriver strømforsterkningen β ?

Oppgave 32.

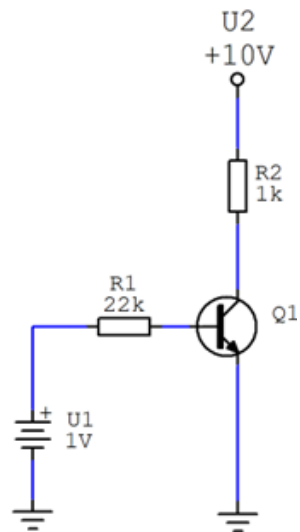
Basert på kretsen presentert i Figur 2.32 Beregn verdiene for I_B , I_C , I_E og U_{CE} . Anta en strømforsterkning $\beta = 75$ og spenningsfall $U_{BE} = 0,7[V]$.



Figur 2.32: Krets med BJT-transistor

Oppgave 33.

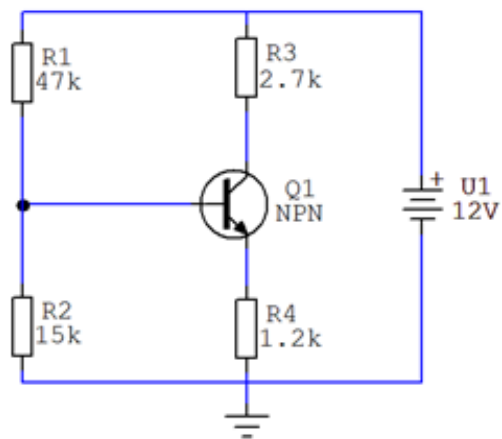
Basert på kretsen presentert i Figur 2.33 Beregn verdiene for I_B , I_C , I_E og U_{CE} . Anta en strømforsterkning $\beta = 250$ og spenningsfall $U_{BE} = 0,7[V]$.



Figur 2.33: Krets med BJT-transistor

Oppgave 34.

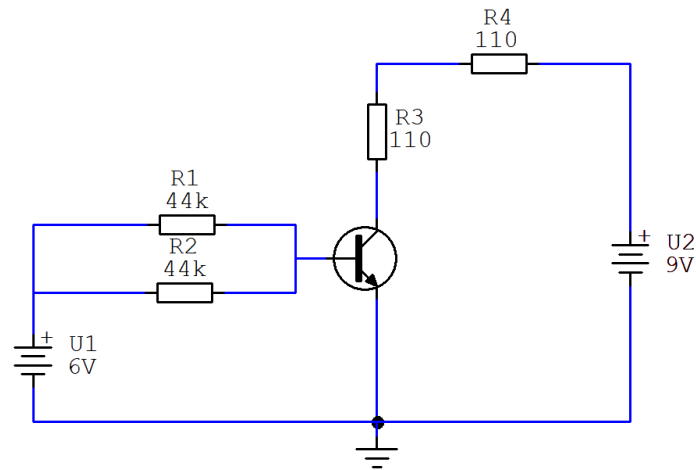
Basert på kretsen presentert i Figur 2.34. Beregn verdiene for I_C , I_E , U_B og U_{BE} . Anta spenningsfall $U_{BE} = 0,7[V]$.



Figur 2.34: Krets med BJT-transistor

Oppgave 35.

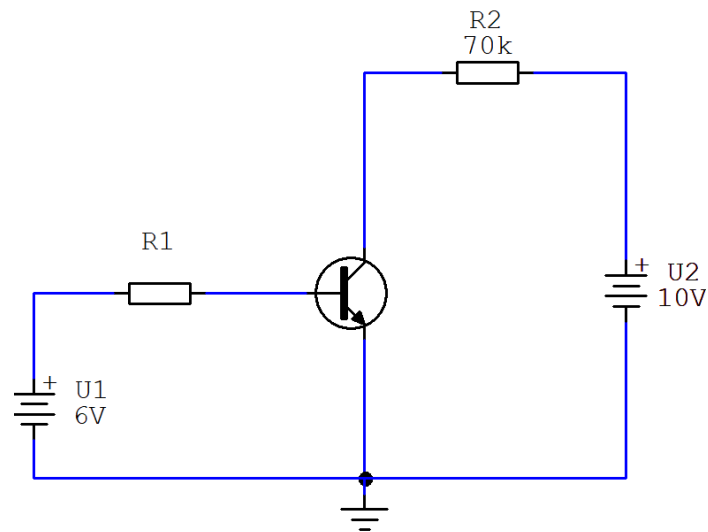
Basert på kretsen presentert i Figur 2.35. Beregn verdiene for I_B , I_C , I_E og U_C . Anta spenningsfall $U_{BE} = 0,7[V]$ og $\beta = 90$.



Figur 2.35: Krets med BJT-transistor

Oppgave 36.

Basert på kretsen presentert i Figur 2.36. Finn motstandsverdien for R_1 slik at strømmen i $I_C = 120[mA]$. Anta spenningsfall $U_{BE} = 0,7[V]$ og $\beta = 96$.



Figur 2.36: Krets med BJT-transistor

Oppgave 37.

Finn motstandsverdier for R_B og R_K for kretsen presentert i Figur 2.37.

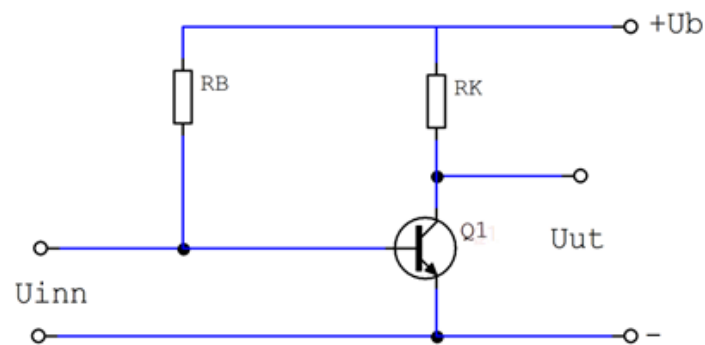
Kretsen skal dimensjoneres til å ha følgende verdier:

$$U_{KE} = 6[V]$$

$$U_{BE} = 0,7[V]$$

$$I_K = 6[mA]$$

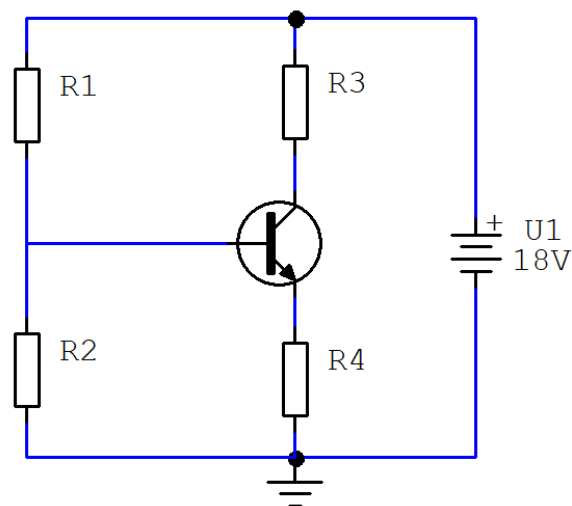
Transistoren Q_1 har oppgitt $\beta = 150$ og spenningen for kilden $U_b = 12[V]$



Figur 2.37: Krets med BJT-transistor

Oppgave 38.

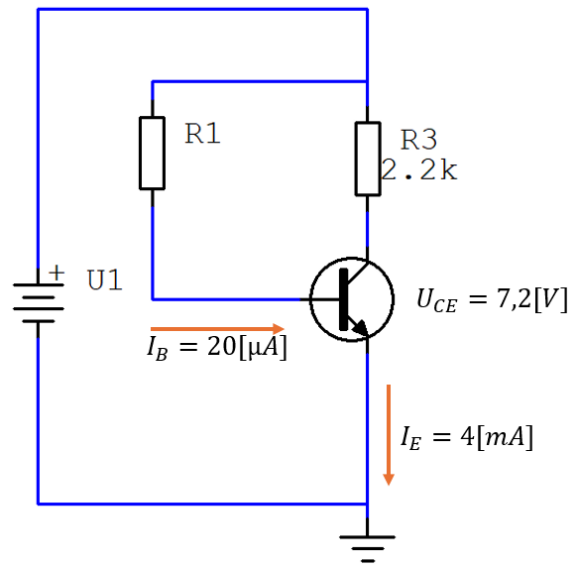
Ta utgangspunkt å Figur 2.38. Det er brudd i R_1 . Hva blir verdien for U_B , U_E og U_C ?



Figur 2.38: Krets med BJT-transistor

Oppgave 39.

Ta utgangspunkt i kretsen som vist i Figur 2.39 og beregn I_C , U_1 , β og R_1



Figur 2.39: Krets med BJT-transistor

2.3.2 Løsningsforslag

Løsningsforslag oppgave 31.

- i) Kollektor-strøm, emitter-strøm og basis-strøm
- ii) Emitter er vanligvis den største siden den er summen av kollektor og basestrømmen
- iii) Saturation oppstår når transistoren leder maksimalt og spenningsfallet mellom kollektor og emitter er $\approx 0[V]$.

Cut-off oppstår når det ikke går noen kollektor-strøm og nesten hele det maksimale spenningsfallet ligger over transistorens kollektor og emitter pinner.

- iv) Forholdet mellom kollektor-strømmen og base-strømmen.

Løsningsforslag oppgave 32.

Finner først basis-strømmen.

$$I_B = \frac{U_1 - U_{BE}}{R_1} = \frac{2 - 0,7}{4,7 \cdot 10^3} \approx 0,277[mA]$$

Bruker strømforsterkningen β for å finne strømmen I_K .

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = 75 \cdot 0,277 \cdot 10^{-3} \approx 20,7[mA]$$

Finner så strømmen I_C .

$$I_B + I_C + I_E = 0 \rightarrow I_C = I_E - I_B = 20,7 \cdot 10^{-3} - 0,277 \cdot 10^{-3} \approx 20,42[mA]$$

Beregner spenningsfallet U_{BE} .

$$U_{CE} = U_2 - U_{R2} = U_2 - (R_2 \cdot I_C) = 24 - (430 \cdot 20,42 \cdot 10^{-3}) \approx 15,2[V]$$

Løsningsforslag oppgave 33.

Finner basis-strømmen.

$$I_B = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{1 - 0,7}{22 \cdot 10^3} \approx 13,64[\mu A]$$

Bruker transistorens formel for strømforsterkning til å finne emitter-strømmen.

$$I_E = \beta \cdot I_B = 250 \cdot 13,64 \cdot 10^{-6} \approx 3,41[mA]$$

Den relativt store forsterkningen gjør at antall desimaler brukt i I_B vil påvirke nøyaktigheten på I_E i stor grad.

I dette tilfellet er $I_K \gg {}^2I_B$ og vi kan derfor forenkle beregningen ved å anta $I_E = I_K$

$$U_{CE} = U_2 - U_{R2} = 10 - (1 \cdot 10^3 \cdot 3,41 \cdot 10^{-3}) = 6,59[V]$$

Løsningsforslag oppgave 34.

Finner spenningsnivå U_B

$$U_B = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot U_1 = \left(\frac{15 \cdot 10^3}{47 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3} \right) \cdot 12 = 2,9[V]$$

Beregner emitterspenningen basert på spenningsfallene U_B og U_{BE} .

$$U_E = U_B - U_{BE} = 2,90 - 0,7 = 2,2[V]$$

²Tegnet betyr mye større enn. Eksempel: $9 \cdot 10^9 \gg 1 \cdot 10^{-10}$

$$I_E = \frac{U_4}{R_4} = \frac{2,2}{1,2 \cdot 10^3} \approx 1,833[mA]$$

Antar $I_C = I_E$.

Finner totale spenningsfallet fra kollektor-pinnen til jord. Dette er summen av to spenningsfall U_{CE} og U_{R_4} .

$$U_C = U_1 - U_{R_3} = U_1 - (I_C \cdot R_3) = 12 - (1,833 \cdot 10^{-3} \cdot 2,7 \cdot 10^3) = 7,1[V]$$

Trekker fra spenningsfallet over U_{R_4} fra U_C for å finne spenningsfallet over transistoren U_{CE} .

$$U_{KE} = U_K - U_E = 7,1 - 2,2 = 4,9[V]$$

Løsningsforslag oppgave 35.

Beregner resistansen for basis-strømmen.

$$R_B = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{44 \cdot 10^3} + \frac{1}{44 \cdot 10^3} \right)^{-1} = 22[k\Omega]$$

Finner I_B .

$$I_B = \frac{U_1 - U_{BE}}{R_B} = \frac{9 - 0,7}{22 \cdot 10^3} \approx 0,377[mA]$$

Bruker forsterkningen β til å finne I_E .

$$I_E = \beta \cdot I_B = 90 \cdot 0,377 \cdot 10^{-3} \approx 34[mA]$$

$$I_C = I_C - I_B = 34 \cdot 10^{-3} - 0,377 \cdot 10^{-3} = 33,623[mA]$$

Finner spenningen U_C som er spenningsfallet mellom kollektor-pinnen og jord.

Summerer kollektor-motstandene

$$R_K = R_3 + R_4 = 110 + 110 = 220[\Omega]$$

$$U_C = U_2 - U_{R_K} = U_2 - (R_K \cdot I_K) = 9 - (220 \cdot 33,623 \cdot 10^{-3}) \approx 7,4[V]$$

Løsningsforslag oppgave 36.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta} \rightarrow I_B = \frac{120 \cdot 10^{-3}}{96} = 1,25[mA]$$

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_B} = \frac{6 - 0,7}{1,25 \cdot 10^{-3}} = 4,24[k\Omega]$$

Løsningsforslag oppgave 37.

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \rightarrow I_B = \frac{I_K}{\beta} = \frac{6 \cdot 10^{-3}}{150} = 40[\mu A]$$

$$R_B = \frac{U_B - U_{BE}}{I_B} = \frac{12 - 0,7}{40 \cdot 10^{-6}} = 282,5[k\Omega]$$

$$R_K = \frac{U_B - U_{KE}}{I_K} = \frac{12 - 6}{6 \cdot 10^{-3}} = 1[k\Omega]$$

Løsningsforslag oppgave 38.

$U_B = 0[V]$, $U_E = 0[V]$ og $U_C = 18[V]$ Her vil transistoren være i cut-off. Det vil ikke gå noen strøm I_B og transistoren vil derfor ikke lede. Hele spenningen til kilden vil ligge over U_C .

Løsningsforslag oppgave 39.

$$I_C = I_E - I_B = 4 \cdot 10^{-3} - 20 \cdot 10^{-6} = 3,98[mA]$$

$$U_1 = U_{R_C} + U_{CE} = (I_C \cdot R_C) + U_{CE} = (3,98 \cdot 10^{-3} \cdot 2,2 \cdot 10^3) + 7,2 = 15,96[V]$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{3,98 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-6}} = 199$$

$$R_B = \frac{U_B}{I_B} = \frac{15,96 - 0,7}{20 \cdot 10^{-6}} = 763[k\Omega]$$

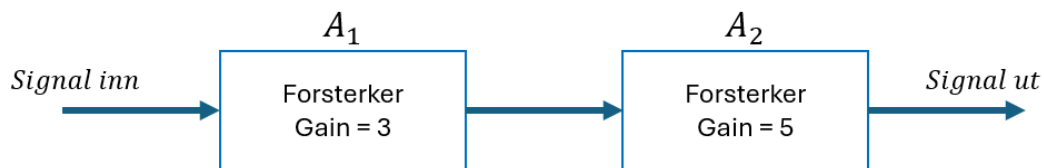
2.4 Forsterkning

2.4.1 Oppgaver

Oppgave 40.

Beregn den totale forsterkningen av kretsen vist i Figur 2.40.

- Beregn den totale forsterkningen ved å benytte $gain$
- Beregn den totale forsterkningen ved å benytte $gain_{dB}$ og diskuter resultatet.



Figur 2.40: Forsterkning av signal

Oppgave 41.

Effekten inn i en forsterker er oppgitt til $1[W]$ når effekten ut er $10[W]$. Beregn forsterkningen i $[dB]$.

Oppgave 42.

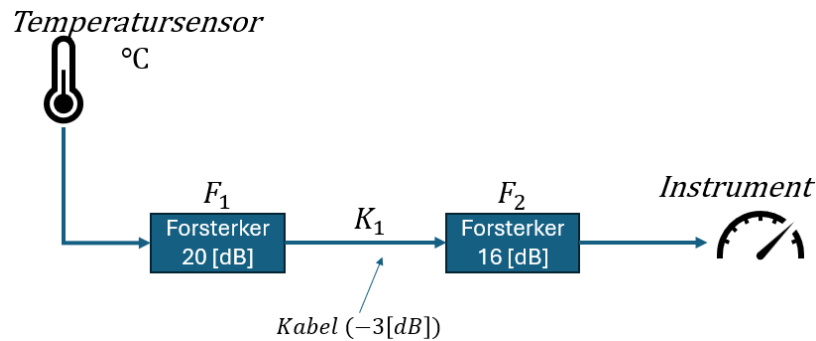
Beregn effektforsterkningen F ved en forsterkning på $L_{FP} = 20[dB]$

Oppgave 43.

Spenningen inn i en forsterker er $10[mV]$ og spenningen over en $600[\Omega]$ last er $1[V]$. Beregn forsterkningen i $[dB]$.

Oppgave 44.

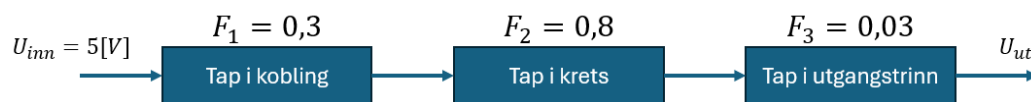
Hva er spenningen ut til instrumentet som vist i 2.41 dersom signalet fra sensoren er $2[mV]$?



Figur 2.41: Forsterkning i et system

Oppgave 45.

Hva er spenningen ut fra kretsen vist i 2.42?



Figur 2.42: Forsterkning i et system

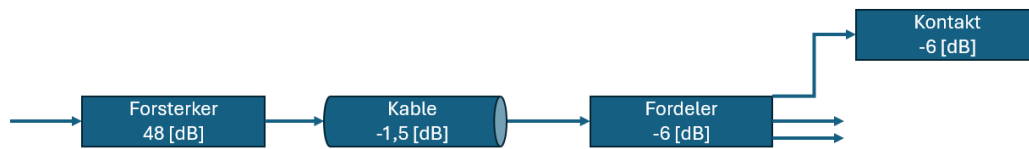
Oppgave 46.

En effektforsterker har oppgitt en forsterkning på $40[dB]$ med en effekt ut på $100[W]$. Hva er effekten inn i forsterkeren ved disse forholdene?

Oppgave 47.

Et signalanlegg er koblet opp som vist i Figur 2.43. Forsterkeren forsterker signalet ut på systemet mens de andre komponentene demper signalet.

- Beregn signalstyrken i kontakten
- Systemet krever at utgangssignalet minimum må ha en størrelse på $2[mV]$. Beregn hva det minste signalet inn på forsterkeren kan være.



Figur 2.43: Forsterkning i et system

Oppgave 48.

En forsterker for et antennesignal har oppgitt en spenningsforsterkning på $34[dB]$. Finn forsterkningen.

Oppgave 49.

En koblingsboks har oppgitt en demping av signalet på $3[dB]$. I tillegg er det en demping av signalet i kabelen frem til koblingsboksen på $1[dB]$. Signalet inn i kabelen er $100[\mu V]$. Hva er signalstyrken i koblingsboksen?

2.4.2 Løsningsforslag**Løsningsforslag oppgave 40.**

- i) Den totale forsterkningen kan man finne ved å multiplisere verdiene for $Gain$.

$$F_{tot} = F_{A1} \cdot F_{A2} = 3 \cdot 5 = 15$$

Konverterer til dB .

$$L_F = 10 \cdot F_{tot} = 10 \cdot \log 15 = 11,76[dB]$$

- ii) Finner nå totale forsterkningen i $[dB]$ ved å konvertere delverdiene og til slutt summere de samme for å få kretsens totale forsterkning.

$$L_{FA1} = 10 \cdot \log F_{A1} \rightarrow L_{FA1} = 10 \cdot \log 3 \approx 4,77[dB]$$

$$L_{FA2} = 10 \cdot \log F_{A2} \rightarrow L_{FA2} = 10 \cdot \log 5 \approx 6,99[dB]$$

$$L_F = L_{FA1} + L_{FA2} = 4,77 + 6,99 = 11,76[dB]$$

Basert på beregningen kan man observere at resultatet blir det samme for begge metoder.

Løsningsforslag oppgave 41.

$$L_{FP} = 10 \cdot \log \frac{P_{ut}}{P_{inn}} \rightarrow L_{FP} = 10 \cdot \log \frac{10}{1} = 10[dB]$$

Løsningsforslag oppgave 42.

$$L_{FP} = 10 \cdot \log F \rightarrow$$

Setter inn tall

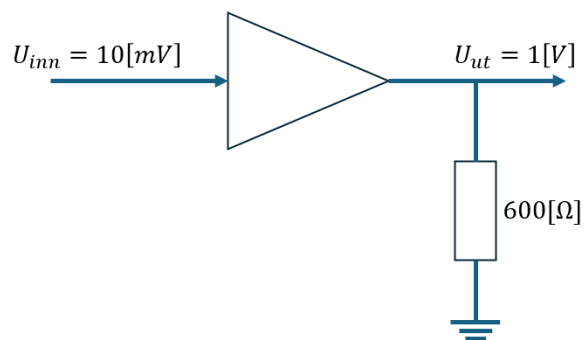
$$20 = 10 \cdot \log F \rightarrow \frac{20}{10} = \log F$$

Tar så inverse funksjon av log som er å oppheve begge sider med 10.

$$10^2 = 10^{\log F} \rightarrow F = 100$$

Løsningsforslag oppgave 43.

Tegner opp en skisse av beskrivelsen som vist i 2.44.



Figur 2.44: Skisse for forsterkning av signal

Beregner spenningforsterkningen.

$$L_{FU} = 20 \cdot \log \frac{U_{ut}}{U_{inn}} \rightarrow L_{FU} = 20 \cdot \log \frac{1}{10 \cdot 10^{-3}} = 40[dB]$$

Løsningsforslag oppgave 44.

Summerer kretsens tre elementer. To elementer forsterker signalet, også en kabel som demper signalet. Dette kan man identifisere ved å se på fortegn.

Finner systemets totale forsterkning.

$$L_{FU_{tot}} = L_{F1} + L_{F2} + L_{F3} = 20 + (-3) + 16 = 33[dB]$$

Konverterer tallet til enhetsløs forsterkning F .

$$L_{FU_{tot}} = 20 \cdot \log \frac{U_{ut}}{U_{inn}} \rightarrow 33 = 20 \cdot \log \frac{u_{ut}}{2 \cdot 10^{-3}} \rightarrow \frac{33}{20} = \frac{20}{20} \cdot \log \frac{U_{ut}}{2 \cdot 10^{-3}} \rightarrow 1,65 = \log \frac{u_{ut}}{2 \cdot 10^{-3}}$$

Tar invers av \log .

$$10^{1,65} = 10^{\log \frac{U_{ut}}{2 \cdot 10^{-3}}} \rightarrow 44,67 = \frac{U_{ut}}{2 \cdot 10^{-3}} \rightarrow U_{ut} = 89,3[mV]$$

Løsningsforslag oppgave 45.

Finner den totale dempingen.

$$F_{tot} = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 0,03 = 7,2 \cdot 10^{-3}$$

$$F_{tot} = \frac{U_{ut}}{U_{inn}} \rightarrow U_{ut} = f_{tot} \cdot U_{inn} = 7,2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 = 36[mV]$$

Løsningsforslag oppgave 46.

$$L_{FP} = 10 \cdot \log \frac{P_{ut}}{P_{inn}} \rightarrow \frac{L_{FP}}{10} = \log \frac{P_{ut}}{P_{inn}}$$

Tar invers av \log .

$$10^{\frac{L_{FP}}{10}} = 10^{\log \frac{P_{ut}}{P_{inn}}} \rightarrow 10^{\frac{40}{10}} = 10^{\log \frac{100}{P_{inn}}} \rightarrow 10000 = \frac{100}{P_{inn}} \rightarrow P_{inn} = \frac{100}{10000} = 10[mW]$$

Løsningsforslag oppgave 47.

i)

$$L_{F_{tot}} = L_{F_{forsterker}} + L_{F_{kabel}} + L_{F_{kontakt}} = 48 + (-1,5) + (-6) + (-3) = 37,5[dB]$$

ii)

$$L_{FU} = 20 \cdot \log \frac{U_{ut}}{U_{inn}} \rightarrow \frac{L_{FU}}{20} = \log \frac{U_{ut}}{U_{inn}}$$

Tar invers av log.

$$10^{\frac{37,5}{20}} = 10^{\log \frac{U_{ut}}{U_{inn}}} \rightarrow 75 = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{U_{inn}} \rightarrow U_{inn-min} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{75} = 26,7[\mu V]$$

Løsningsforslag oppgave 48.

$$L_{FU} = 20 \cdot \log F \rightarrow 10^{\frac{34}{20}} = 10 \log F \rightarrow F = 50,1$$

Løsningsforslag oppgave 49.

$$L_{FU-tot} = (-3) + (-1) = -4[dB]$$

$$L_{FU} = 20 \cdot \log \frac{U_{inn}}{U_{ut}} \rightarrow \frac{L_{FU}}{20} = \log \frac{U_{ut}}{U_{inn}}$$

Tar invers av log.

$$10^{\frac{-4}{20}} = 10^{\log \frac{U_{ut}}{U_{inn}}} \rightarrow 0,63 = \frac{U_{ut}}{110 \cdot 10^{-6}} \rightarrow U_{ut} = 0,63 \cdot 110 \cdot 10^{-6} = 69,4[\mu V]$$

2.5 Operasjonsforsterker

2.5.1 Oppgaver

Oppgave 50.

En integrert operasjonsforsterker har

- i) To innganger og to utganger
- ii) Én inngang og én utgang
- iii) To innganger og én utgang

Oppgave 51.

Hvilken av disse egenskapene beskriver en operasjonsforsterker dårligst

- i) Høy forsterkning
- ii) Høy inngangsmotstand
- iii) Lav effekt
- iv) Lav utgangsresistans

Oppgave 52.

Med $0[V]$ på begge inngangene skal en ideell operasjonsforsterker ha hva på utgangen

- i) Positiv driftspenning $+V_{cc}$
- ii) Negativ driftspenning $-V_{cc}$
- iii) $0[V]$

Oppgave 53.

Av verdiene nevnt i listen, hvilken av de beskriver den mest realistiske verdien for operasjonsforsterkerens forsterkning uten tilbakekobling.

- i) 1
- ii) 2000
- iii) 80[dB]
- iv) 100000

Oppgave 54.

Velg det riktige alternativet for egenskapene til en ideell operasjonsforsterker.

- i) Hvilke tilkoblinger har en standard operasjonsforsterker?
- ii) Hvordan er spenningsforsterkning for en ideell operasjonsforsterker annerledes enn for en fysisk operasjonsforsterker?
- iii) Hva indikerer + tegnet på den ene inngangen av operasjonsforsterkeren?
- iv)

Oppgave 55.

Velg det riktige alternativet for egenskapene til en ideell operasjonsforsterker.

- i) Inngangsimpedans = 0 og utgangsimpedans = 0
- ii) Inngangsimpedans = 0 og utgangsimpedans = ∞
- iii) Inngangsimpedans = ∞ og utgangsimpedans = 0
- iv) Inngangsimpedans = ∞ og utgangsimpedans = ∞

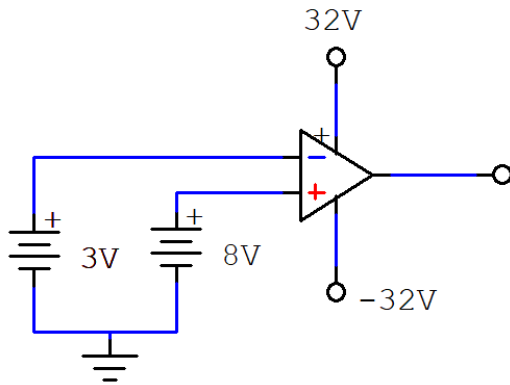
Oppgave 56.

Ta utgangspunkt i delenummer TL081P og det vedlagte databladet presentert i Vedlegg B for å svare på følgende:

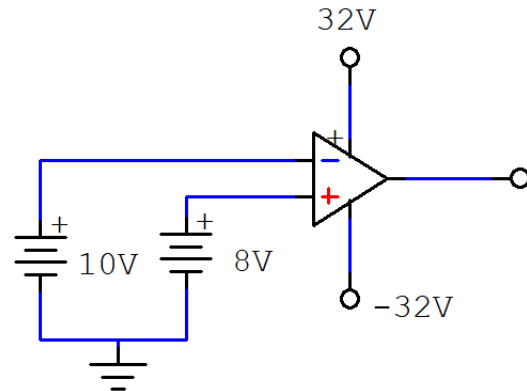
- i) Tegn opp en prinsippskisse for hvordan man kan koble opp en inverterende og ikke-inverterende kobling
- ii) Hva er den maksimale spenningen brikken kan drives med, og hva er den maksimale spenningen den bør drives med.
- iii) Hva er den maksimale spenningen man kan ha inn på inngangen

Oppgave 57.

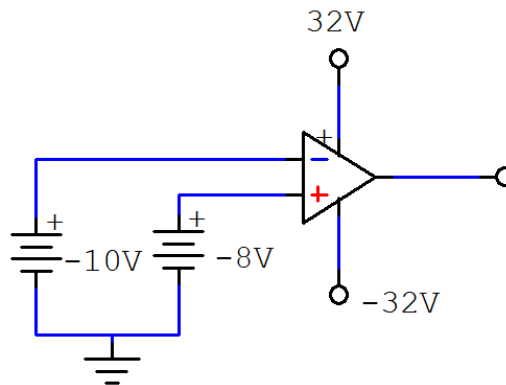
Studer kretsene vist i Figur 2.45, Figur 2.46 og Figur 2.47 forså å angi hva utgangsspenningen er for de forskjellige koblingene.



Figur 2.45: Kobling 1



Figur 2.46: Kobling 2



Figur 2.47: Kobling 3

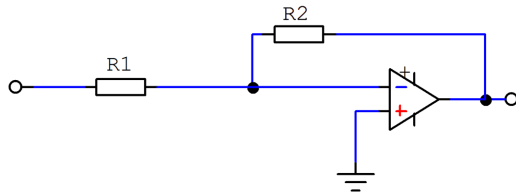
Oppgave 58.

En operasjonsforsterkerkrets er koblet som inverterende forsterker. Kretsens forsterkning $F_U = -200$ med en inngangsresistans / serieresistans angitt til $R_1 = 10[k\Omega]$.

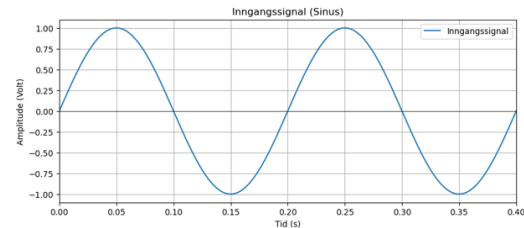
- Beregn motstandsverdien for R_2 .
- Hva er spenningen man måler man på utgangen av koblingen, dersom inngangsspenningen er $1[V_{DC}]$

Oppgave 59.

- i) Kretsen som vist i Figur 2.48 er koblet slik at forsterkningen $F_U = 2$. Kretsen blir påtrykt et signal som vist i Figur 2.49. Tegn utgangssignalet sammen med inngangssignalet for kretsen.
- ii) Si noe om hvordan forholdet mellom R_1 og R_2 må være for at kretsen skal ha $F_U = 2$. Foreslå motstandsverdier for R_1 og R_2 .



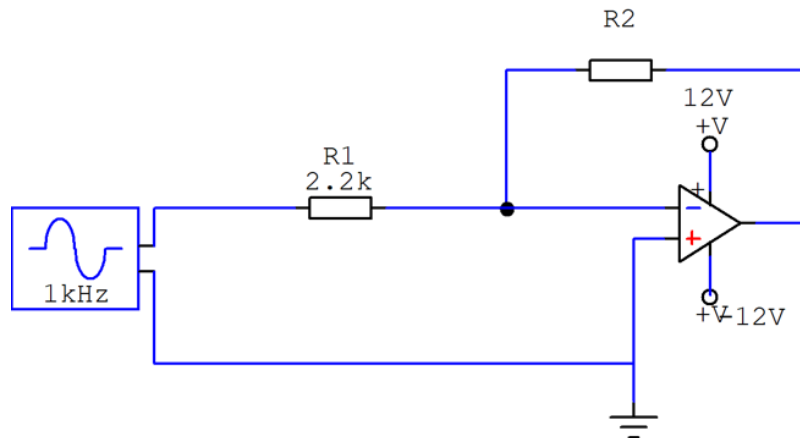
Figur 2.48: Krets med operasjonforsterker



Figur 2.49: Inngangssignal til krets

Oppgave 60.

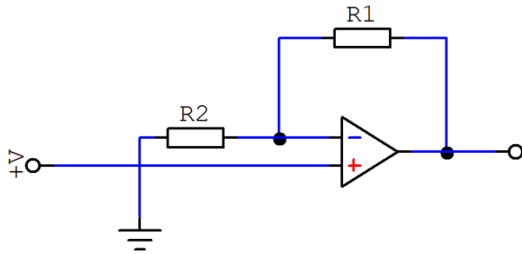
Finn verdien for R_2 i for kretsen vist i Figur 2.50 slik at $F_U = 100$.



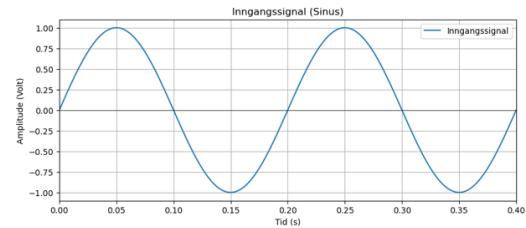
Figur 2.50: Operasjonsforsterkerkrets

Oppgave 61.

Kretsen som vist i Figur 2.51 er koblet slik at forsterkningen $F_U = 2$. Kretsen blir påtrykt et signal som vist i Figur 2.52. Tegn utgangssignalet sammen med inngangssignalet for kretsen.



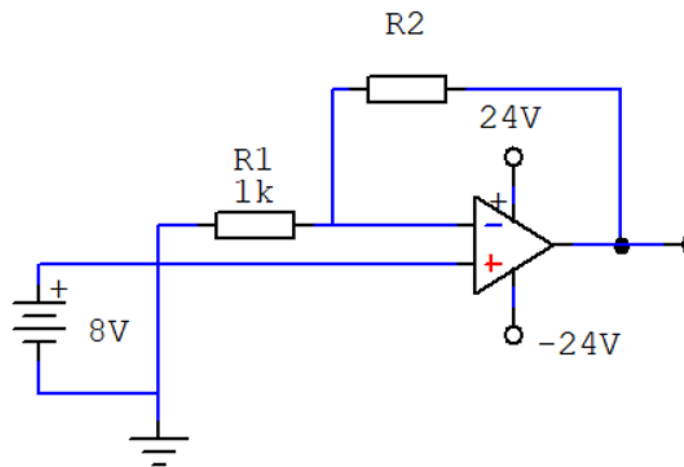
Figur 2.51: Krets med operasjonforsterker



Figur 2.52: Inngangssignal til krets

Oppgave 62.

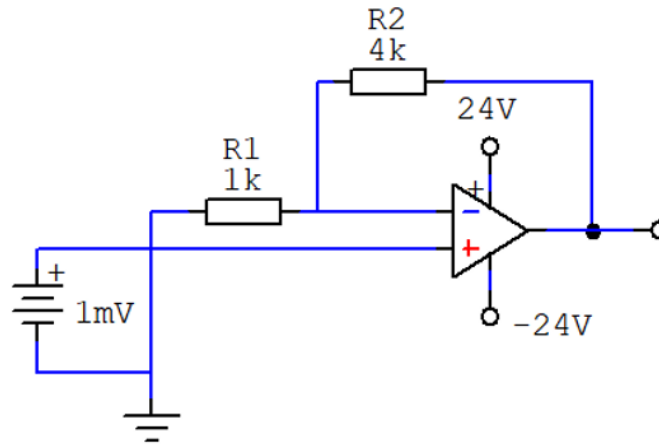
Finn verdien for R_2 slik at forsterkningen blir 100.



Figur 2.53: Operasjonsforsterkerkrets

Oppgave 63.

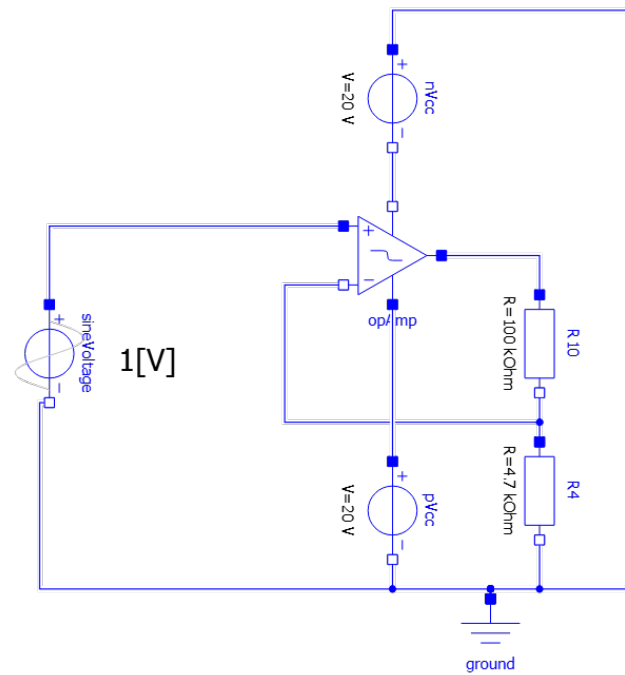
Finn verdien for U_{ut} i Figur 2.54.



Figur 2.54: Operasjonsforsterkerkrets

Oppgave 64.

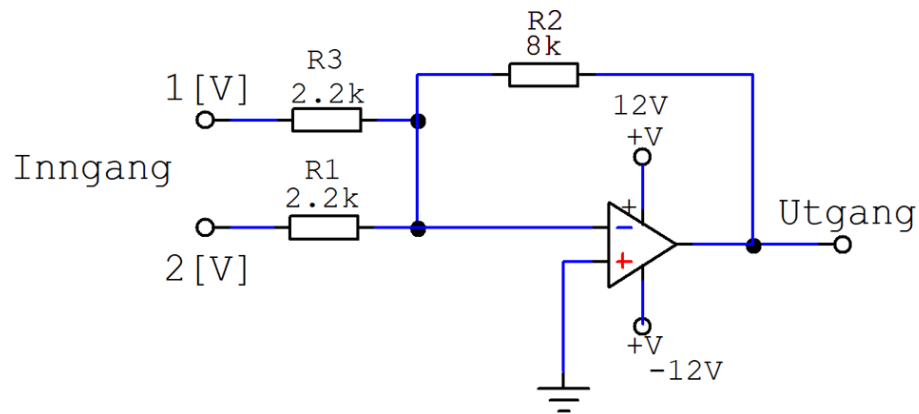
Finn spenningsforsterkningen og utgangspenningen for kretsen vist i Figur 2.55.



Figur 2.55: Operasjonsforsterkerkrets

Oppgave 65.

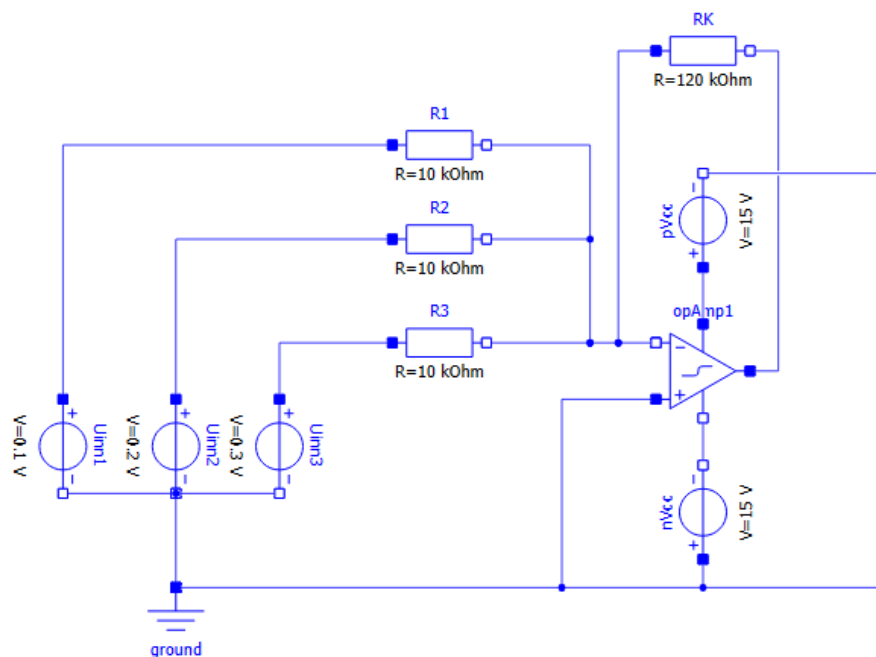
Finn hvilken spenning måler man på utgangen av kretsen vist i 2.56.



Figur 2.56: Operasjonsforsterkerkrets

Oppgave 66.

Finn hvilken spenning måler man på utgangen av kretsen vist i 2.57.



Figur 2.57: Operasjonsforsterkerkrets

2.5.2 Løsningsforslag

Løsningsforslag oppgave 50.

Riktig svar: iii

Løsningsforslag oppgave 51.

Riktig svar: iii

Løsningsforslag oppgave 52.

Riktig svar: iii

Løsningsforslag oppgave 53.

Riktig svar: iv

Løsningsforslag oppgave 54.

- i) Inverterende og ikke-inverterende innganger, utgang, positiv og negativ tilførsel
- ii) En fysisk operasjons-forsterker har stor spenningsforsterkning, men ikke uendelig som vi antar for den ideelle modellen
- iii) Ikke-inverterende inngang

Løsningsforslag oppgave 55.

Riktig svar er iii.

Løsningsforslag oppgave 56.**Løsningsforslag oppgave 57.**

Kobling 1: $U_{ut} = 32[V]$

Potensialet på den ikke-inverterende inngangen er høyere enn potensialet på den inverterende. Utgangen vil derfor gå til maksimum positiv spenning bare begrenset av driftspenningen til kretsen.

Kobling 2: $U_{ut} = -32[V]$

Potensialet på den inverterende inngangen er høyere enn potensialet på den ikke-inverterende. Utgangen vil derfor gå til maksimum negativ spenning bare begrenset av driftspenningen til kretsen.

Kobling 3: $U_{ut} = 32[V]$

Potensialet på den inverterende inngangen er høyere enn potensialet på den ikke-inverterende ved at spenningen på den ikke-inverterende er mindre negativt enn potensialet på den inverterende. Utgangen vil derfor gå til maksimum positiv spenning

bare begrenset av driftspenningen til kretsen.

Løsningsforslag oppgave 58.

i)

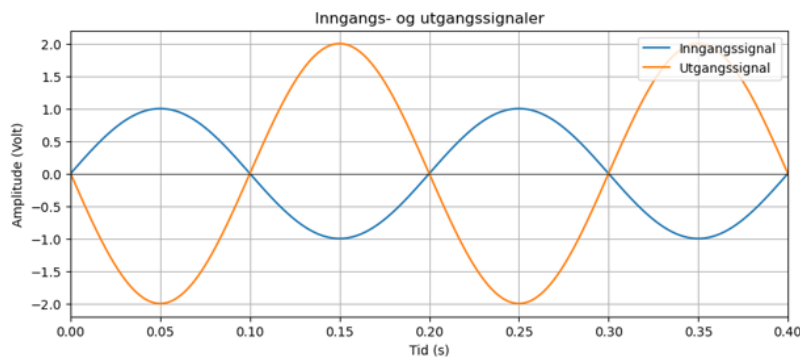
$$F_U = -\frac{R_K}{R_1} \rightarrow -200 = \frac{R_K}{10 \cdot 10^3} \rightarrow -200 \cdot 10 \cdot 10^3 = -R_K \rightarrow R_K = 200 \cdot 10 \cdot 10^3 = 2[M\Omega]$$

ii)

$$U_{ut} = -\frac{R_K}{R_{inn}} \cdot U_{inn} = -\frac{2 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^3} \cdot 1 = -200[V]$$

Operasjonsforsterkerens utgangsspenning blir begrenset av $\pm V_{CC}$.

Løsningsforslag oppgave 59.



Figur 2.58: Inngang og utgangssignal for en inverterende kobling

i)

ii) Den generelle spenningsforsterkningen for en inverterende kobling kan beskrives ved formelen som vist i Formel 2.2.

$$F_U = -\frac{R_K}{R_{inn}} \quad (2.2)$$

Dersom man ønsker en forsterkning $F_U = -1$ vil det si at R_K og R_{inn} må ha samme verdi slik at når de deles på hverandre blir resultatet 1. Dersom man ønsker en dobling av forsterkningen må tallet i teller være dobbelt så stort som i nevner for at resultatet skal bli 2. Et eksempel:

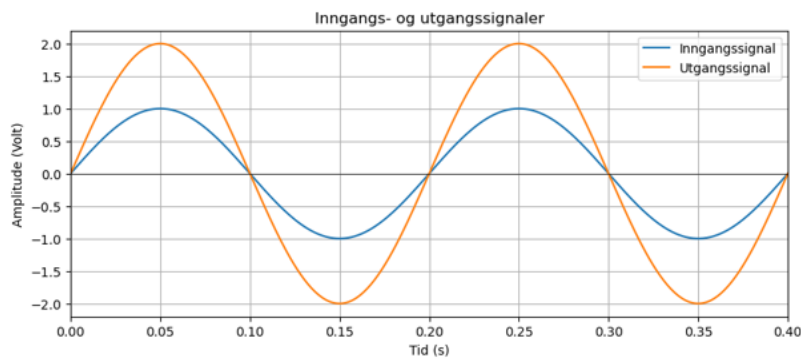
$$F_U = -\frac{2}{1} = 2$$

Så ved en teoretisk betraktning kan man derfor si at forholdet mellom motstandene sier noe om forsterkningen, og ikke verdien på motstandene. Derfor kan alternative verdier være $R_K = 2[\Omega]$ og $R_{inn} = 1[\Omega]$, eller $R_K = 2[M\Omega]$ og $R_{inn} = 1[M\Omega]$

Løsningsforslag oppgave 60.

$$F_U = -\frac{R_2}{R_1} \rightarrow -100 = -\frac{R_2}{2,2 \cdot 10^3} \rightarrow (-100) \cdot 2,2 \cdot 10^3 = -R_2 \cdot 1 \rightarrow R_2 = 220[k\Omega]$$

Løsningsforslag oppgave 61.



Figur 2.59: Inn og utgangssignal for kretsen

Løsningsforslag oppgave 62.

$$F_U = 1 + \frac{R_2}{R_1} \rightarrow 100 = 1 + \frac{R_2}{1 \cdot 10^3} \rightarrow 100 - 1 = \frac{R_2}{1 \cdot 10^3} \rightarrow R_2 = 99 \cdot 10^3 = 99[k\Omega]$$

Løsningsforslag oppgave 63.

$$U_{ut} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{inn} = \left(1 + \frac{4 \cdot 10^3}{1 \cdot 10^3}\right) \cdot 4 = (1 + 4) \cdot 4 = 20[V]$$

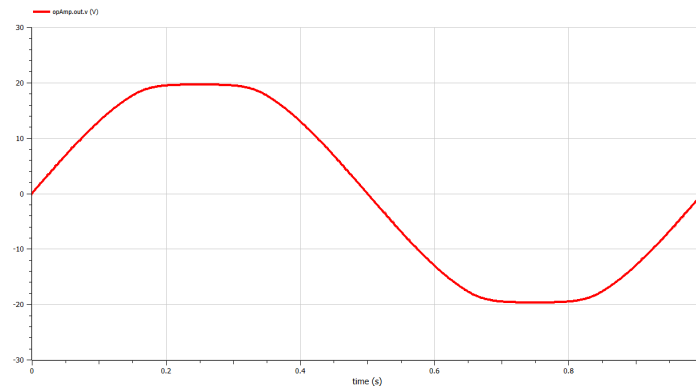
Løsningsforslag oppgave 64.

$$F_U = 1 + \frac{R_{10}}{R_4} = 1 + \frac{100 \cdot 10^3}{4,7 \cdot 10^3} = 22,3$$

Med inngangssignal $U_{inn} = 1[V]$ som merket i kretsen kan man beregne utgangsspenningen.

$$U_{ut} = U_{inn} \cdot F_U = 1 \cdot 22,3 = 22,3[V]$$

Siden operasjonsforsterkeren er forsynt med $\pm 20[V]$ vil maksimal spenning på utgangen bli $20[V]$ som vist i simulering av kretsen i Figur 2.60 hvor signalet holdes konstant ved $20[V]$ før utgangen faller under eller over $20[V]$ igjen.



Figur 2.60: Operasjonsforsterkerkrets - Plot

Løsningsforslag oppgave 65.

Løsningsalternativ 1:

Beregner de individuelle spenningsforsterkningene.

$$F_1 = -\frac{R_2}{R_3} = \frac{8 \cdot 10^3}{2,2 \cdot 10^3} \approx -3,636$$

$$F_2 = -\frac{R_2}{R_1} = \frac{8 \cdot 10^3}{2,2 \cdot 10^3} \approx -3,636$$

Beregner så utgangsspenningen.

$$U_{ut} = F_1 \cdot U_{inn1} + F_2 \cdot U_{inn2} = 3,636 \cdot 1 + 3,636 \cdot 2 \approx 10,9[V]$$

Løsningsalternativ 2:

$$U_{ut} = -\left(\frac{U_{inn1}}{R_3} + \frac{U_{inn2}}{R_1}\right) = -\left(\frac{1}{2,2 \cdot 10^3} + \frac{2}{2,2 \cdot 10^3}\right) \cdot 8 \cdot 10^3 = \frac{120}{11} \approx 10,9[V]$$

Løsningsforslag oppgave 66.

$$U_{ut} = -\left(\frac{U_{inn1}}{R_1} + \frac{U_{inn2}}{R_2} + \frac{U_{inn3}}{R_3}\right) \cdot R_K = -\left(\frac{0,1}{10 \cdot 10^3} + \frac{0,2}{10 \cdot 10^3} + \frac{0,3}{10 \cdot 10^3}\right) \cdot 120 \cdot 10^3 = -7,2[V]$$

3. Måleteknikk

3.1 Måleusikkerhet

3.1.1 Absolutt Usikkerhet

Absolutt usikkerhet refererer til den faktiske mengden usikkerhet i en måling, uttrykt i samme enhet som selve målingen. For eksempel, hvis du måler lengden av et bord til 2,00 meter med en usikkerhet på $\pm 0,01$ meter, er den absolutte usikkerheten 0,01 meter. Denne typen usikkerhet brukes ofte når man ønsker å vite den eksakte mengden usikkerhet i en måling.

3.1.2 Relativ Usikkerhet

Relativ usikkerhet er forholdet mellom den absolutte usikkerheten og selve målingen, og den uttrykkes ofte som en prosentandel. Formelen for relativ usikkerhet er:

$$\text{Relativ usikkerhet} = \frac{\text{Absolutt usikkerhet}}{\text{Måltverdi}} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

For eksempel, hvis du har en måling på 2,00 meter med en absolutt usikkerhet på $\pm 0,01$ meter, er den relative usikkerheten $\frac{0,01}{2,00} \cdot 100\% = 0,5\%$. Relativ usikkerhet brukes ofte for å sammenligne usikkerheten i forskjellige målinger eller for å vurdere nøyaktigheten av en måling i forhold til størrelsen på målingen.

3.2 Oppgaver

Oppgave 67.

Lengden på et bord er målt til å være 2 meter. Nøyaktigheten på målinger er 0,2% med en repeterbarhet på 0,05%. Utfør følgende:

- i) Beregn total usikkerhet
- ii) Beregn absolutt usikkerhet
- iii) Beskriv målingen med korrekt usikkerhet

Oppgave 68.

Temperaturen i en ovn måles til $200[^\circ\text{C}]$. Nøyaktigheten i målingen er 0,1% med en repeterbarhet på 0,002%. Utfør følgende:

- i) Total usikkerhet
- ii) Absolutt usikkerhet

Oppgave 69.

For å øke nøyaktigheten på en måling av væsknivå i en tank blir det utført uavhengige målinger etter hverandre. Målingene gir følgende resultater: 49,8[l], 50,2[l], 50,0[l]. Nøyaktigheten i målingene er 0,3% med en repeterbarhet på 0,01%. Utfør følgende:

- i) Beregn total usikkerhet
- ii) Beregn absolutt usikkerhet
- iii) Beskriv målingen med korrekt usikkerhet

Oppgave 70.

En brygger måler volumet av øl ved hjelp av en målesylinder. Målesylinderen har en nøyaktighet på $\pm 0,3\%$ og en repeterbarhet på 0,01%. Det er utført 10 målinger på en produksjonsenhet med øl, som ga følgende resultat: 50,050[l], 49,813[l], 50,030[l], 50,089[l], 49,838[l], 50,038[l], 49,928[l], 50,131[l], 50,141[l], 49,893[l]. Utfør følgende:

- i) Beregn total usikkerhet
- ii) Beregn absolutt usikkerhet
- iii) Beskriv målingen med korrekt usikkerhet

Oppgave 71.

Multimetere vist i Figur 3.1 ble benyttet til å måle en DC-spenning. Instrumentet ga verdien 46,5[V].

- i) Med utgangspunkt i data presentert i Figur 3.2 beskriv hvordan det påvirker en måling dersom man bruker et høyere måleområde enn nødvendig
- ii) Beregn usikkerhet og vis måleresultatet med usikkerheten, basert på databladet til instrumentet vist i Figur 3.2.

Beregn usikkerhet og vis måleresultatet med usikkerheten basert på databladet til instrumentet vist i Figur 3.2.



Figur 3.1: Bilde av måleinstrument

Function	Range	Resolution	Accuracy
DC Voltage (V)	999.9mV	0.1mV	±(0.5%+3)
	9.999V	0.001V	
	99.99V	0.01V	
	999.9V	0.1V	
DC Voltage (mV)	9.999mV	0.001mV	
	99.99mV	0.01mV	
AC Voltage (V)	999.9mV	0.1mV	±(1.0%+3)
	9.999V	0.001V	
	99.99V	0.01V	
	750.0V	0.1V	
AC Voltage (mV)	9.999mV	0.001mV	
	99.99mV	0.01mV	
*Frequency response of ACV: 40Hz-1kHz			

<https://www.dropbox.com/sc/ffuexd0qztk3cwa3ymo0us/ZT-702S-EN.pdf?rlkey=hnaa8b3kxa1cju7jh1jkszmaw&e=1&dl=0>

Figur 3.2: Utdrag fra datablad

3.3 Løsningsforslag

Løsningsforslag oppgave 67.

i) Total usikkerhet

$$Total\ usikkerhet = Nøyaktighet + Repeterbarhet = 0,2\% + 0,05\% = 0,25\%$$

ii) Absolutt usikkerhet

$$Absolutt\ usikkerhet = M\ddot{a}ltverdi \cdot \frac{Total\ usikkerhet}{100} = 2 \cdot \frac{0,25}{100} = 0,005[m]$$

iii) Beskriv målingen med korrekt usikkerhet

$$(2 \pm 0,005)[m]$$

Løsningsforslag oppgave 68.

i) Total usikkerhet

$$Total\ usikkerhet = Nøyaktighet + Repeterbarhet = 0,1\% + 0,02\% = 0,12\%$$

ii) Absolutt usikkerhet

$$Absolutt\ usikkerhet = M\ddot{a}lt\ verdi \cdot \frac{Usikkerhet}{100} = 200 \cdot \frac{0,12}{100} = 0,24[^\circ C]$$

Løsningsforslag oppgave 69.

i) Finner gjennomsnittsverdien for målingene

$$Gjennomsnitt = \frac{Summen\ av\ alle\ m\ddot{a}linger}{Antall\ m\ddot{a}linger} = \frac{49,8 + 50,2 + 50,0}{3} = 50,0[l]$$

ii) Absolutt usikkerhet

iii) Beskriv målingen med korrekt usikkerhet

Løsningsforslag oppgave 70.

i) Total usikkerhet

Beregner gjennomsnittet

$$\mu = 50,050 + 49,813 + 50,030 + 50,089 + 49,838 + 50,038 + 49,928 + 50,131 + 50,141 + 49,893 = 49,995$$

Total usikkerhet

$$Total\ usikkerhet = Nøyaktighet + Repeterbarhet = 0,3 + 0,01 = 0,31\%$$

ii) Absolutt usikkerhet

$$Absolutt\ usikkerhet = \mu \cdot \frac{Total\ usikkerhet}{100} = 49,995 \cdot \frac{0,31}{100} = 0,155[l]$$

iii) Beskriv målingen med korrekt usikkerhet

$$(49,995 \pm 0,155)[l]$$

Løsningsforslag oppgave 71.

- i) Måleinstrumentet vil få en redusert nøyaktighet siden oppløsningen (Resolution) vil reduseres. Dersom man måler $8[V]$ med måleområde $999,9[V]$ vil den konstante usikkerheten være på $0,3[V]$. Hvis man i stede bruker det nærmeste området for målingen som er $9,999[V]$ vil den konstante usikkerheten være redusert til $0,003[V]$
- ii) Leser av den prosentvise relative usikkerheten fra tabellen til å være $0,5\%$. Beregner så den absolutte usikkerheten.

$$Usikkerhet = Måling \cdot \frac{\text{Relativ usikkerhet}}{100} = 46,5 \cdot \frac{0,5}{100} = 0,235[V]$$

Leser av den konstante absolutte usikkerheten fra tabellen til å være 3 , og oppløsningen til å være $0,01[V]$.

$$Usikkerhet_{konst} = Oppløsning \cdot konstant_{usikkerhet} = 3 \cdot 0,01 = 0,03[V]$$

Beregner den totale måleusikkerheten

$$Total\ usikkerhet = Usikkerhet + Usikkerhet_{konst} = 0,235 + 0,03 = 0,265[mV]$$

Måleresultatet kan beskrive ved:

$$(46,5 \pm 0,265)[V]$$

4. Referanser

- [1] Farnell, *Standard LED*, red. av temp. adresse: <https://www.farnell.com/datasheets/1498852.pdf>.
- [2] T. Instruments, *TL08xx FET-Input Operational Amplifiers*. adresse: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl081.pdf?ts=1745904205194&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTL081.

A. LED Datasheet

Datablad fra en standard LED [1].

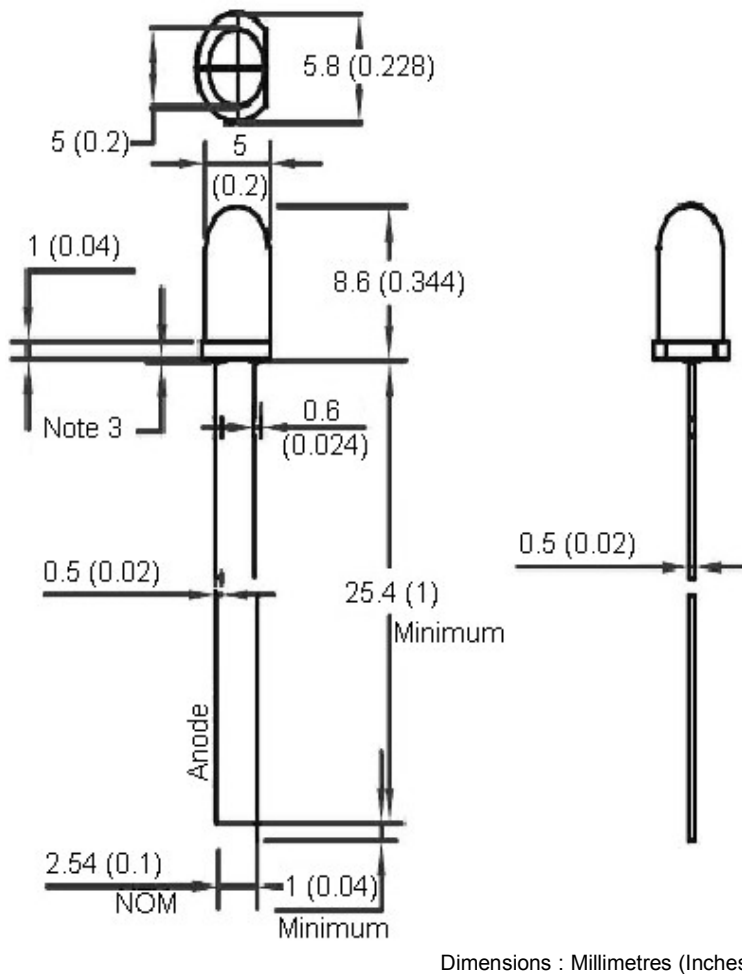
Standard LED

Red Emitting Colour

Features:

- High intensity
- Standard T-1 3/4 diameter package
- General purpose leads
- Reliable and rugged

Package Dimensions:



Specification Table

Chip Material	Lens Colour	Source Colour	Part Number
AlGaAs	Diffused	Red	MV5754A

Notes:

1. Tolerance is ± 0.25 mm (0.01") unless otherwise noted
2. Protruded resin under flange is 1 mm (0.04") maximum
3. Lead spacing is measured where the leads emerge from the package

Standard LED

Red Emitting Colour



Absolute Maximum Ratings at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Maximum	Unit
Power Dissipation	80	mW
Peak Forward Current (1/10 Duty Cycle, 0.1 ms Pulse Width)	100	mA
Continuous Forward Current	20	
Derating Linear From 50°C	0.4	mA / $^\circ\text{C}$
Reverse Voltage	5	V
Operating Temperature Range	-25°C to $+80^\circ\text{C}$	
Storage Temperature Range	-40°C to $+100^\circ\text{C}$	
Lead Soldering Temperature (4 mm (0.157) Inches from Body)	260 $^\circ\text{C}$ for 5 s	

Electrical Optical Characteristics at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Test Condition
Luminous Intensity	I_v		40		mcd	$I_f = 20\text{ mA}$ (Note 1)
Viewing Angle	$2\theta_{1/2}$		25		Deg	(Note 2)
Peak Emission Wavelength	λ_p		640		nm	$I_f = 20\text{ mA}$
Dominant Wavelength	λ_d		635		nm	$I_f = 20\text{ mA}$ (Note 3)
Spectral Line Half-Width	$\Delta\lambda$		25		nm	$I_f = 20\text{ mA}$
Forward Voltage	V_f		2	2.5	V	$I_f = 20\text{ mA}$
Reverse Current	I_R	-	-	100	μA	$V_R = 5\text{ V}$

Notes:

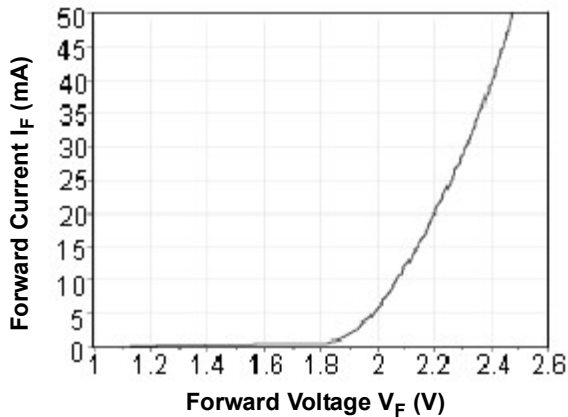
1. Luminous intensity is measured with a light sensor and filter combination that approximates the CIE eye-response curve
2. $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity
3. The dominant wavelength (λ_d) is derived from the CIE chromaticity diagram and represents the single wavelength which defines the colour of the device

Standard LED

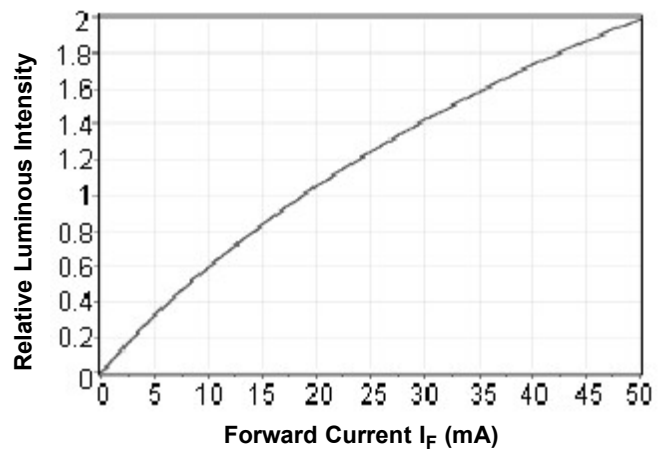
Red Emitting Colour

Typical Characteristics

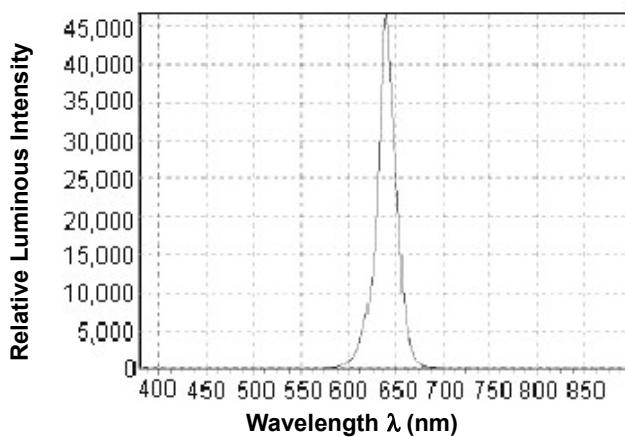
$I_F - V_F$ ($T_a = 25^\circ\text{C}$)



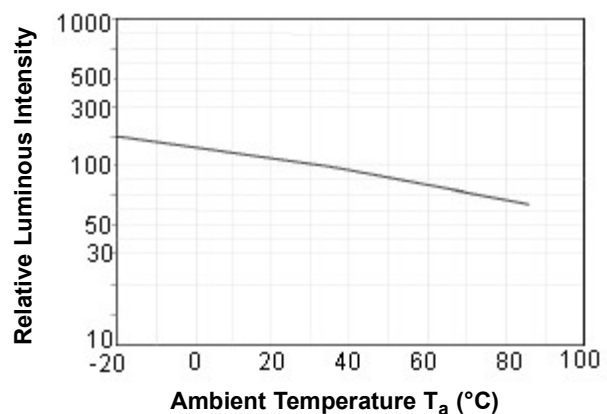
Relative Luminous Intensity - I_F ($T_a = 25^\circ\text{C}$)



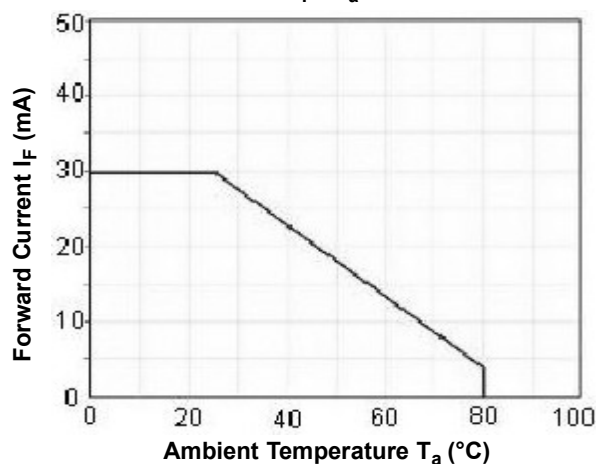
Wavelength Characteristics ($T_a = 25^\circ\text{C}$)



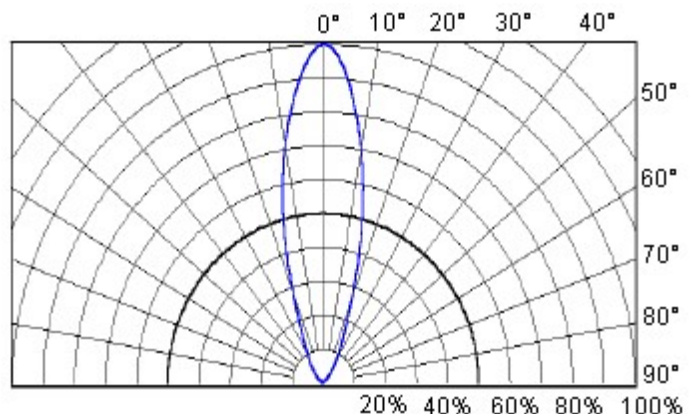
Relative Luminous Intensity - T_a



$I_F - T_a$



Directive Characteristics ($T_a = 25^\circ\text{C}$)



Important Notice : This data sheet and its contents (the "Information") belong to the members of the Premier Farnell group of companies (the "Group") or are licensed to it. No licence is granted for the use of it other than for information purposes in connection with the products to which it relates. No licence of any intellectual property rights is granted. The Information is subject to change without notice and replaces all data sheets previously supplied. The Information supplied is believed to be accurate but the Group assumes no responsibility for its accuracy or completeness, any error in or omission from it or for any use made of it. Users of this data sheet should check for themselves the Information and the suitability of the products for their purpose and not make any assumptions based on information included or omitted. Liability for loss or damage resulting from any reliance on the Information or use of it (including liability resulting from negligence or where the Group was aware of the possibility of such loss or damage arising) is excluded. This will not operate to limit or restrict the Group's liability for death or personal injury resulting from its negligence. Multicomp is the registered trademark of the Group. © Premier Farnell plc 2011.

B. TI OpAmp - TL08xx

Datablad fra en standard TL08xx OPAMP [2]

TL08xx FET-Input Operational Amplifiers

1 Features

- High slew rate: 20V/μs (TL08xH, typ)
- Low offset voltage: 1mV (TL08xH, typ)
- Low offset voltage drift: 2 μV/°C
- Low power consumption: 940μA/ch (TL08xH, typ)
- Wide common-mode and differential voltage ranges
 - Common-mode input voltage range includes V_{CC+}
- Low input bias and offset currents
- Low noise:
 - $V_n = 18\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (typ) at $f = 1\text{kHz}$
- Output short-circuit protection
- Low total harmonic distortion: 0.003% (typ)
- Wide supply voltage:
 - $\pm 2.25\text{V}$ to $\pm 20\text{V}$, 4.5V to 40V

2 Applications

- [Solar energy: string and central inverter](#)
- [Motor drives: AC and servo drive control and power stage modules](#)
- [Single phase online UPS](#)
- [Three phase UPS](#)
- [Pro audio mixers](#)
- [Battery test equipment](#)

3 Description

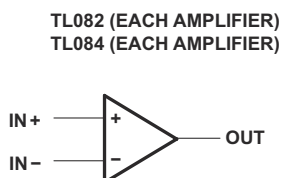
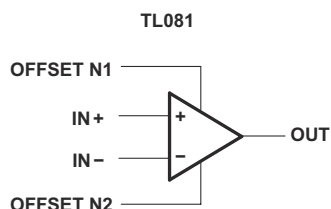
The TL08xH (TL081H, TL082H, and TL084H) family of devices are the next-generation versions of the industry-standard TL08x (TL081, TL082, and TL084) devices. These devices provide outstanding value for cost-sensitive applications, with features including low offset (1mV, typical), high slew rate (20V/μs), and common-mode input to the positive supply. High ESD (1.5kV, HBM), integrated EMI and RF filters, and operation across the full -40°C to 125°C enable the TL08xH devices to be used in the most rugged and demanding applications.

Device Information

PART NUMBER	PACKAGE ⁽¹⁾	BODY SIZE (NOM) ⁽²⁾
TL081x	P (PDIP, 8)	9.59mm × 6.35mm
	DCK (SC70, 5)	2mm × 1.25mm
	PS (SO, 8)	6.2mm × 5.3mm
	D (SOIC, 8)	4.9mm × 3.9mm
	DBV (SOT-23, 5)	2.9mm × 1.6mm
TL082x	P (PDIP, 8)	9.59mm × 6.35mm
	PS (SO, 8)	6.2mm × 5.3mm
	D (SOIC, 8)	4.9mm × 3.9mm
	DDF (SOT-23, 8)	2.9mm × 1.6mm
	PW (TSSOP, 8)	4.4mm × 3mm
TL082M	JG (CDIP, 8)	9.6mm × 6.67mm
	FK (LCCC, 20)	8.89mm × 8.89mm
TL084x	N (PDIP, 14)	19.3mm × 6.35mm
	NS (SO, 14)	10.3mm × 5.3mm
	D (SOIC, 14)	8.65mm × 3.91mm
	DYY (SOT-23, 14)	4.2mm × 2mm
	PW (TSSOP, 14)	5mm × 4.4mm
TL084M	J (CDIP, 14)	19.56mm × 6.67mm
	FK (LCCC, 20)	8.89mm × 8.89mm

(1) For more information, see [Section 11](#).

(2) The body size (length × width) is a nominal value and does not include pins.



Logic Symbols

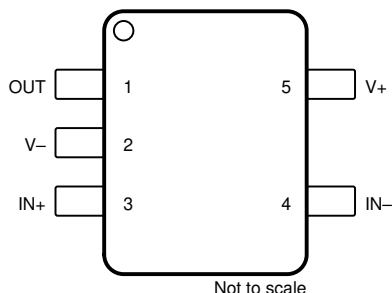


An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

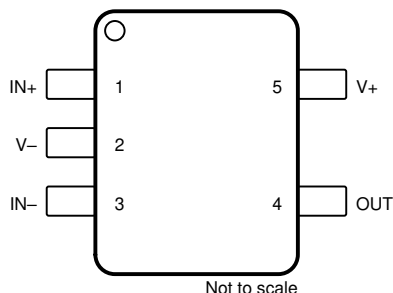
Table of Contents

1 Features	1	7.1 Overview.....	25
2 Applications	1	7.2 Functional Block Diagram.....	25
3 Description	1	7.3 Feature Description.....	25
4 Pin Configuration and Functions	3	7.4 Device Functional Modes.....	25
5 Specifications	9	8 Applications and Implementation	26
5.1 Absolute Maximum Ratings.....	9	8.1 Application Information.....	26
5.2 ESD Ratings.....	9	8.2 Typical Applications.....	26
5.3 Recommended Operating Conditions.....	9	8.3 System Examples.....	27
5.4 Thermal Information for Single Channel.....	10	8.4 Power Supply Recommendations.....	28
5.5 Thermal Information for Dual Channel.....	10	8.5 Layout.....	28
5.6 Thermal Information for Quad Channel.....	11	9 Device and Documentation Support	30
5.7 Electrical Characteristics: TL08xH.....	12	9.1 Receiving Notification of Documentation Updates....	30
5.8 Electrical Characteristics (DC): TL08xC, TL08xAC, TL08xBC, TL08xI, TL08xM.....	14	9.2 Support Resources.....	30
5.9 Electrical Characteristics (AC): TL08xC, TL08xAC, TL08xBC, TL08xI, TL08xM.....	16	9.3 Trademarks.....	30
5.10 Typical Characteristics: TL08xH.....	17	9.4 Electrostatic Discharge Caution.....	30
6 Parameter Measurement Information	24	9.5 Glossary.....	30
7 Detailed Description	25	10 Revision History	30
		11 Mechanical, Packaging, and Orderable Information	31

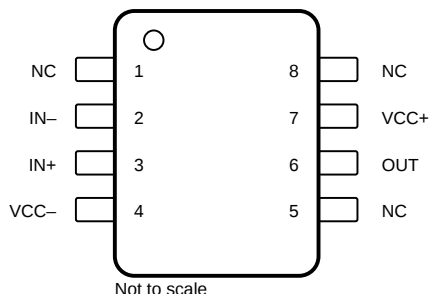
4 Pin Configuration and Functions



**Figure 4-1. TL081H DBV Package,
5-Pin SOT-23
(Top View)**



**Figure 4-2. TL081H DCK Package,
5-Pin SC70
(Top View)**



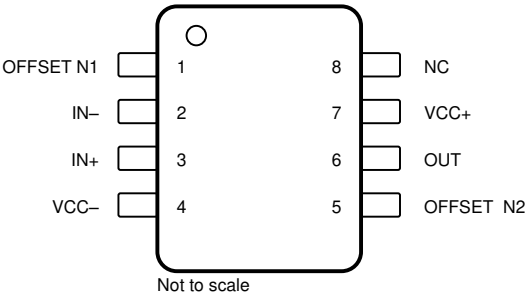
NC- no internal connection

**Figure 4-3. TL081H D Package,
8-Pin SOIC
(Top View)**

Table 4-1. Pin Functions: TL081H

PIN				TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	DBV	DCK	D		
IN-	4	3	2	I	Inverting input
IN+	3	1	3	I	Noninverting input
NC	—	—	8	—	Do not connect
NC	—	—	1	—	Do not connect
NC	—	—	5	—	Do not connect
OUT	1	4	6	O	Output
VCC-	2	2	4	—	Power supply
VCC+	5	5	7	—	Power supply

(1) I = input, O = output



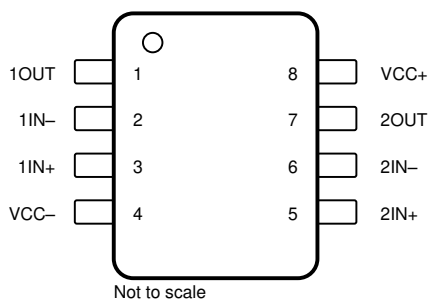
NC- no internal connection

**Figure 4-4. TL081x D, P, and PS Package,
8-Pin SOIC, PDIP, and SO
(Top View)**

Table 4-2. Pin Functions: TL081x

PIN		TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	NO.		
IN-	2	I	Inverting input
IN+	3	I	Noninverting input
NC	8	—	Do not connect
OFFSET N1	1	—	Input offset adjustment
OFFSET N2	5	—	Input offset adjustment
OUT	6	O	Output
VCC-	4	—	Power supply
VCC+	7	—	Power supply

(1) I = input, O = output



**Figure 4-5. TL082x D, DDF, DGK, JG, P, PS, and PW Package,
 8-Pin SOIC, SOT-23 (8), VSSOP, CDIP, PDIP, SO, and TSSOP
 (Top View)**

Table 4-3. Pin Functions: TL082x

PIN		TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1IN–	2	I	Inverting input
1IN+	3	I	Noninverting input
1OUT	1	O	Output
2IN–	6	I	Inverting input
2IN+	5	I	Noninverting input
2OUT	7	O	Output
VCC–	4	—	Power supply
VCC+	8	—	Power supply

(1) I = input, O = output

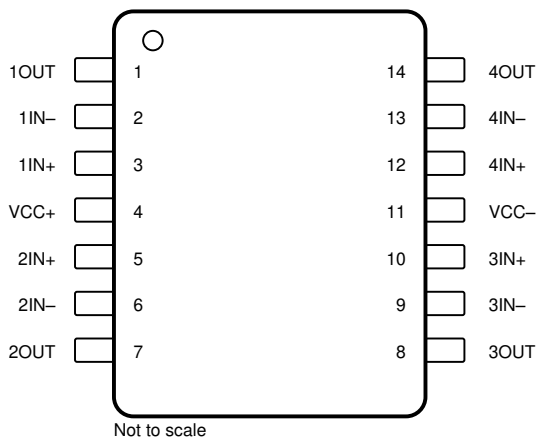
NC- no internal connection

**Figure 4-6. TL082 FK Package,
20-Pin LCCC
(Top View)**

Table 4-4. Pin Functions: TL082x

PIN		TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1IN−	5	I	Inverting input
1IN+	7	I	Noninverting input
1OUT	2	O	Output
2IN−	15	I	Inverting input
2IN+	12	I	Noninverting input
2OUT	17	O	Output
NC	1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 18, 19	—	Do not connect
VCC−	10	—	Power supply
VCC+	20	—	Power supply

(1) I = input, O = output

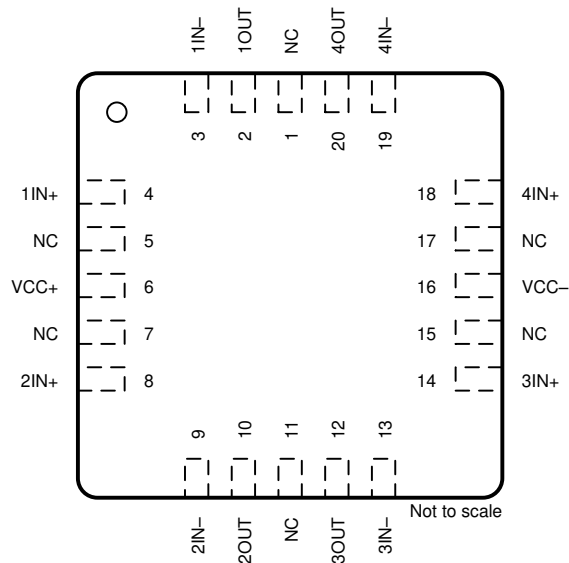


**Figure 4-7. TL084x D, N, NS, PW, J, and DYY Package,
14-Pin SOIC, PDIP, SO, TSSOP, CDIP, and SOT-23 (14)
(Top View)**

Table 4-5. Pin Functions: TL084x

PIN		TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1IN–	2	I	Inverting input
1IN+	3	I	Noninverting input
1OUT	1	O	Output
2IN–	6	I	Inverting input
2IN+	5	I	Noninverting input
2OUT	7	O	Output
3IN–	9	I	Inverting input
3IN+	10	I	Noninverting input
3OUT	8	O	Output
4IN–	13	I	Inverting input
4IN+	12	I	Noninverting input
4OUT	14	O	Output
V _{CC–}	11	—	Power supply
V _{CC+}	4	—	Power supply

(1) I = input, O = output



NC- no internal connection

**Figure 4-8. TL084 FK Package,
20-Pin LCCC
(Top View)**

Table 4-6. Pin Functions: TL084x

PIN		TYPE ⁽¹⁾	DESCRIPTION
NAME	NO.		
1IN–	3	I	Inverting input
1IN+	4	I	Noninverting input
1OUT	2	O	Output
2IN–	9	I	Inverting input
2IN+	8	I	Noninverting input
2OUT	10	O	Output
3IN–	13	I	Inverting input
3IN+	14	I	Noninverting input
3OUT	12	O	Output
4IN–	19	I	Inverting input
4IN+	18	I	Noninverting input
4OUT	20	O	Output
NC	1, 5, 7, 11, 15, 17	—	Do not connect
VCC–	16	—	Power supply
VCC+	6	—	Power supply

(1) I = input, O = output

5 Specifications

5.1 Absolute Maximum Ratings

over operating ambient temperature range (unless otherwise noted) ⁽¹⁾

			MIN	MAX	UNIT
Supply voltage, $V_S = (V+) - (V-)$		All NS and PS packages; All TL08xM devices	−0.3	36	V
		All other devices	0	42	V
Signal input pins	Common-mode voltage ⁽³⁾	All NS and PS packages; All TL08xM devices	$(V-) - 0.3$	$(V-) + 36$	V
		All other devices	$(V-) - 0.5$	$(V+) + 0.5$	V
	Differential voltage ⁽³⁾	All NS and PS packages; All TL08xM devices ⁽⁴⁾	$(V-) - 0.3$	$(V-) + 36$	V
		All other devices		$V_S + 0.2$	V
	Current ⁽³⁾	All NS and PS packages; All TL07xM devices		50	mA
		All other devices	−10	10	mA
Output short-circuit ⁽²⁾			Continuous		
Operating ambient temperature, T_A			−55	150	°C
Junction temperature, T_J				150	°C
Case temperature for 60 seconds - FK package				260	°C
Lead temperature 1.8 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds				300	°C
Storage temperature, T_{stg}			−65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) Short-circuit to ground, one amplifier per package.
- (3) Input pins are diode-clamped to the power-supply rails. Input signals that may swing more than 0.5V beyond the supply rails must be current limited to 10 mA or less.
- (4) Differential voltage only limited by input voltage.

5.2 ESD Ratings

			VALUE	UNIT
$V_{(ESD)}$	Electrostatic discharge	Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC JS-001 ⁽¹⁾	±2000	V
		Charged-device model (CDM), per JEDEC specification JESD22-C101 ⁽²⁾	±1000	

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.
- (2) JEDEC document JEP157 states that 250V CDM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

5.3 Recommended Operating Conditions

over operating ambient temperature range (unless otherwise noted)

			MIN	MAX	UNIT
V_S	Supply voltage, $(V+) - (V-)$	All NS and PS packages; All TL08xM devices ⁽¹⁾	10	30	V
		All other devices	4.5	40	V
V_I	Input voltage range	All NS and PS packages; All TL08xM devices	$(V-) + 2$	$(V+) + 0.1$	V
		All other devices	$(V-) + 4$	$(V+) + 0.1$	V
T_A	Specified temperature	TL08xM	–55	125	°C
		TL08xH	–40	125	°C
		TL08xL	–40	85	°C
		TL08xC	0	70	°C

- (1) $V+$ and $V-$ are not required to be of equal magnitude, provided that the total V_S ($V+ - V-$) is between 10V and 30V.