



Designnotat

Tittel: Bufferdesign

Forfattere: Hans Jakob Vahlin

Versjon: 3.0

Dato: 02.12.18

Innhold

1 Innledning	1
2 Prinsipiell løsning	2
3 Realisering og test	4
4 Konklusjon	8
Referanser	8

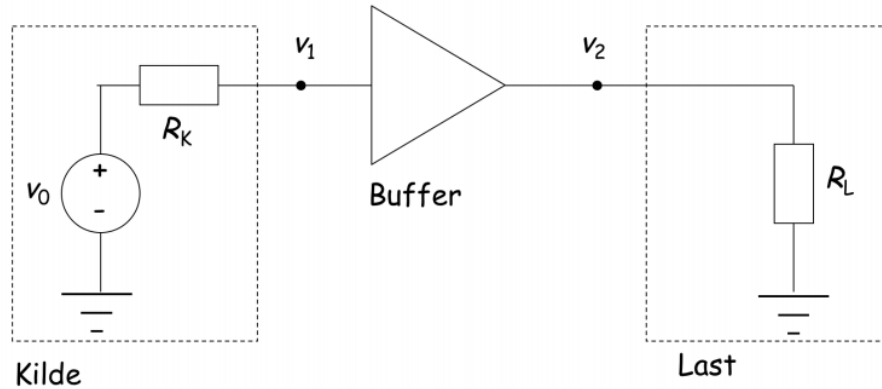
1 Innledning

I mange situasjoner klarer ikke en signalkilde å levere nok effekt til en last. Spenningsnivået kan være høyt nok, men det er ønskelig å ha en viss effekt på lasten, og da må strømstyrken være tilstrekkelig også. I slike situasjoner trengs et buffer som kan sørge for at spenningen fra kilden havner over lasten, slik at det oppnås tilstrekkelig effektoverføring. Figur 1 viser blokkskjema for det beskrevde systemet.

For at nok effekt skal bli levert til lasten i Figur 1, er forholdet mellom spennigen til kilden, v_0 , inngangspennigen til bufferet, v_1 og utgangsspenningen til bufferet v_2 , nødt til og være

$$v_2 \approx v_1 \approx v_0 \quad (1)$$

I dette designnotatet skal design og implementasjon av et slikt buffer diskuteres. Bufferet skal vurderes basert på amplitudeavvik på utgangssignalet, frekvensresponsen, samt hvor stor verdi amplituden kan ta før forvrengningen blir synlig.



Figur 1: Oversikt over systemet som skal designes [1]

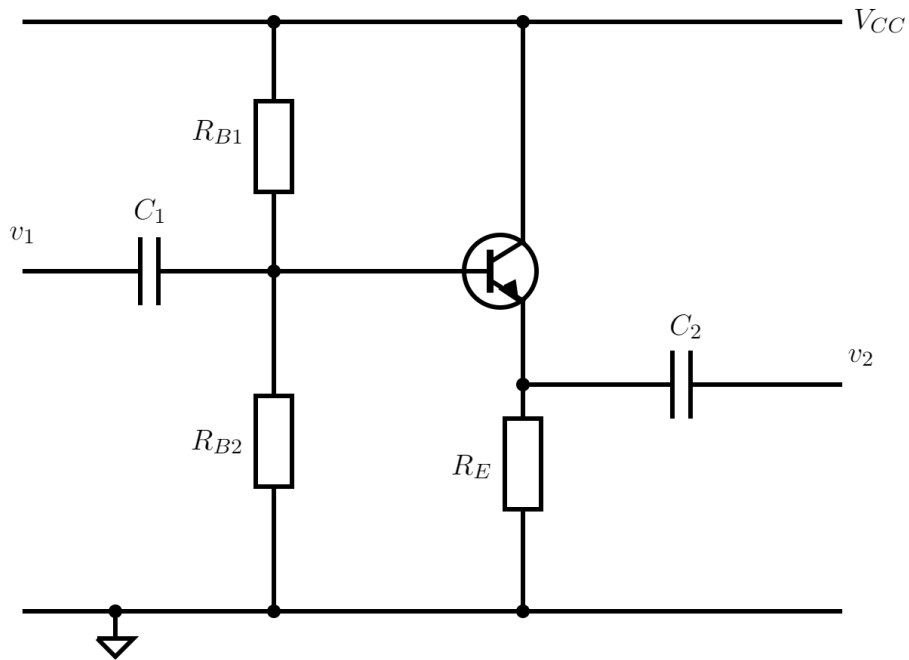
2 Prinsipiell løsning

For å oppnå en spenningsforhold som gitt ved (1), er det ønskelig med et buffer med høy inngangsmotstand i forhold til kildens motstand, og lav utgangsmotstand i forhold til lastens motstand. Et slikt buffer kan realiseres med en *emitter-følger*, vist i Figur 2.

Emitter-følgeren vist i Figur 2, er basert på en bipolar NPN-transistor. En variasjon i transistorens basestrøm, i_B , vil gi en variasjon i collector strømmen, i_C , som igjen vil gi en variasjon i emitter spenningen, v_E , som utgangen v_2 koblet til. Kretsens arbeidspunkt (likespenningsnivåer), må dimensjoneres slik at systemet blir tilpasset systemkravene nevnt innledningsvis.

For og kunne håndtere et innsignal med så stor amplitude som mulig, er det ønskelig at arbeidspunktet til emitterspenningen V_E , velges slik at $V_E = \frac{V_{CC}}{2}$. Ettersom spenningsfallet fra base til emitter, V_{BE} er $V_{BE} \approx 0.7V$, kan en ønskelig V_E oppnås ved og sørge for at V_B ligger $\approx 0.7V$ over ønsket V_E . Følgelig må spenningsdelingen mellom R_{B1} og R_{B2} dimensjoneres slik at

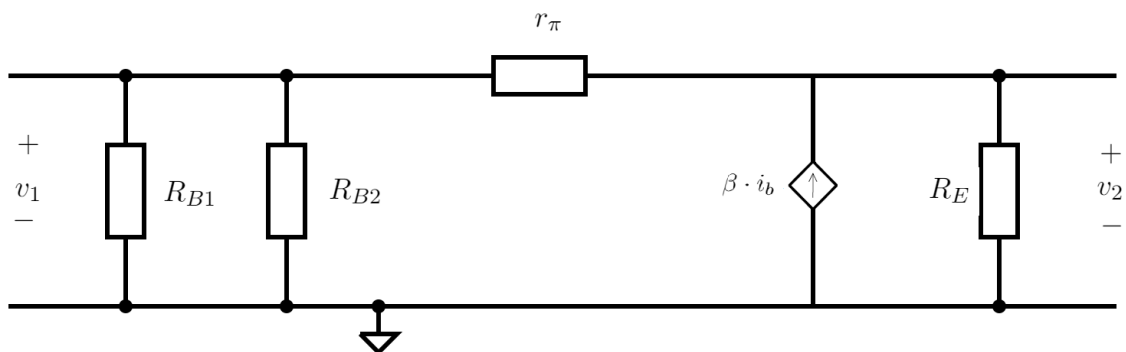
$$\frac{R_{B2}}{R_{B2} + R_{B1}} V_{CC} = \frac{V_{CC}}{2} + 0.7 \quad (2)$$



Figur 2: Emittor-følger basert på en NPN-transistor.

For at (2) skal gjelde, må basestrømmen være mye mindre enn strømmen gjennom spenningsdelingen. Følgelig gir dette en begrensning på hvor store motstandene R_{B1} og R_{B2} kan være. Motstandsverdien R_E , må velges stor nok til at transistorens maksimale effekt og strøm ikke overskrides.

For å studere bufferets inngangsmotstand R_i , samt utgangsmotstand R_o , er en småsignalanalyse av emittor-følgeren nødvendig. Figur 3 viser emittor-følgerens småsignalskjema.



Figur 3: Kretsens småsignalskjema

Fra småsignalskjemaet utledes emittor-følgerens inngangs og utgangsmotstand, gjengitt i hhv (3) og (4),

$$R_i = R_{B1} || R_{B2} || (r_\pi + (1 + \beta)R_E) \quad (3)$$

$$R_o = R_E || \frac{r_\pi}{1 + \beta} \quad (4)$$

hvor r_π og β er karakterstiske parametre for transistoren. Disse størrelsene vil stå oppført i databladet til transistoren som blir anvendt.

Fra (3) følger det at for å oppnå stor inngangsmotstand bør R_{B1} , R_{B2} og R_E være store. Fra (4) følger det at R_E bør være liten for å få til liten utgangsmotstand. Som diskutert tidligere, gir arbeidspunkt betraktningen til V_E begrensninger på valg av motstandverdien R_E . Følgelig må et passende “kompromiss” bli innført.

For å fjerne innsignalets likestrømsnivå, slik at det svinger rundt det ønskede arbeidspunktet V_B , kobles en kondensator med stor kapasitans på inngangen. Tilsvarende kobles en stor kondensator på utgangen, slik at utgangssignalet svinger rundt 0V. Kondensatorene C_1 og C_2 sammen med inngangs og utgangsmotstandene R_i og R_o utgjøre to høypassfilter. For å unngå at lave frekvenser dempes betraktelig, må kondensatorenes reaktans være liten sammenliknet med resistansen. Det oppnås med kondensatorer med høy kapasitans.

3 Realisering og test

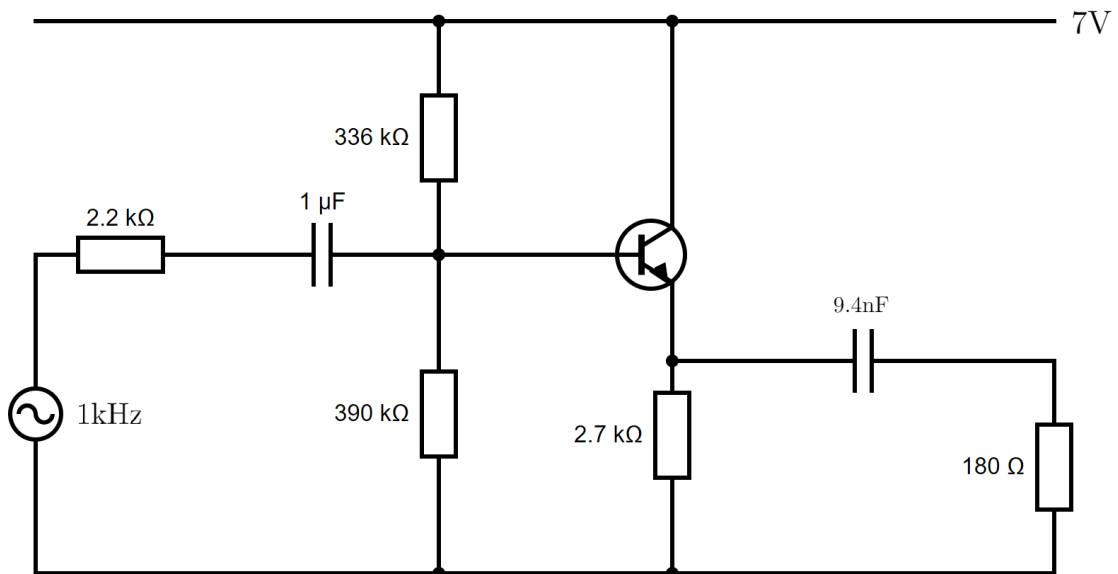
Testingen av bufferet ble gjort med en forsyningspenning på 7V. Spenningskilden v_0 leverer en vekselspanning med amplitude 0.5V og frekvens 1kHz. Kilden har en intern motstand $R_K = 2.2k\Omega$. En lastmotstand $R_L = 180\Omega$ blir brukt. Til realiseringen av bufferet brukes en BC547[2] transistor. Et Analog Discovery 2 [4] vil bli brukt som oscilloskop og signalgenerator. Analyseprogrammet Waveforms [3] blir brukt til og plotte og analysere resultatene.

Med en forsyningspenning på 7V er det ønskelig at arbeidspunktet til emitterspenningen er $V_E = 3.5V$. Ettersom kildens motstand er $R_K = 2.2k\Omega$ velges $R_{B1} = 322\Omega$, slik at $R_i \gg R_K$ kan realiseres. Fra (2) beregnes $R_{B2} = 400k\Omega$. Simuleringsprogrammet LTSpice [5] ble brukt til å finne en verdi for R_E som best oppfylte spesifikasjonskravene. Et alternativ til eksprimentering i LTSpice kan være å realisere R_E med et potensiometer. Etter eksprimentering i LTSpice ble R_E bestemt til $R_E = 2.7k\Omega$. Kondensatorene C_1 og C_2 ble valgt til $C_1 = 1\mu F$ og $C_2 = 9.4\mu F$ for å minimere dempningen av inngangssignalet og sette signalets DC nivå til 0V. Beregnede og realiserte komponentverdier er gjengitt i Tabell 1.

Tabell 1: Teoretiske og realiserte komponentverdier.

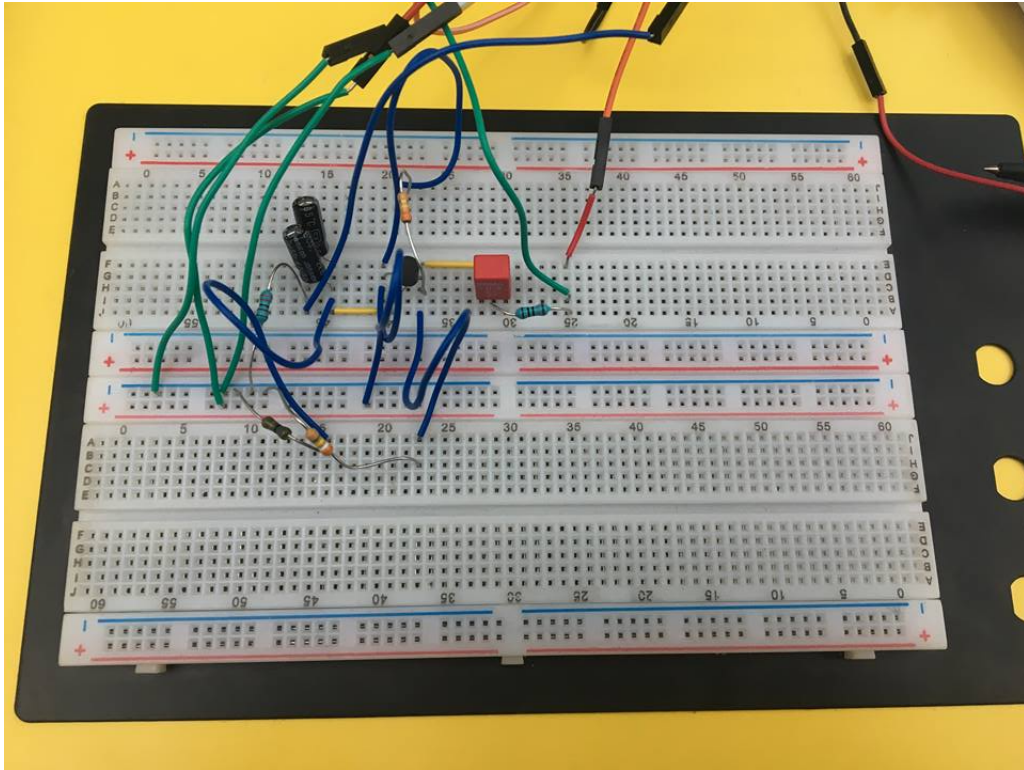
Navn	Beregnet Verdi	Realisert verdi
C_1	0.723 μ F	1 μ F
C_2	8.8 μ F	9,4 μ F
R_{B2}	400k Ω	390k Ω
R_{B1}	322k Ω	336k Ω
R_E	2.7k Ω	2.7k Ω
R_L	180 Ω	180 Ω
R_K	2.2k Ω	2.2k Ω

Figur 4 viser kretsskjema for bufferet med realiserte komponentverdier. I figuren er også kilden og lastmostanden koblet på.



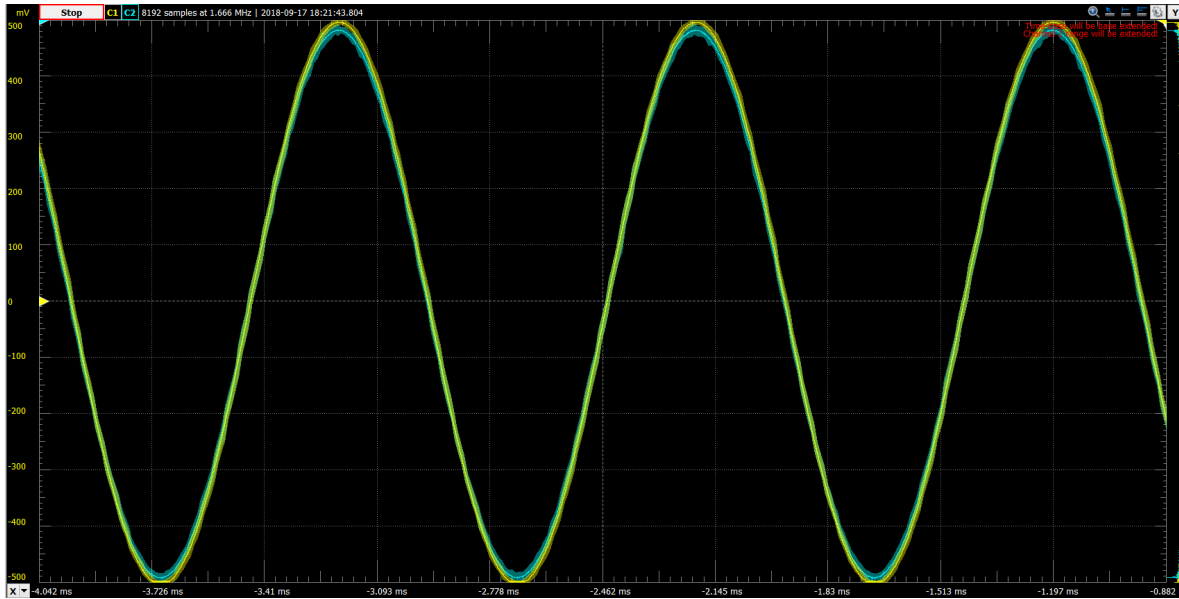
Figur 4: Bufferet med realiserte komponentverdier, sammen med kilde og last.

I Figur 5 vises realiseringen av bufferet.



Figur 5: Realisert oppkobling av bufferet.

Under testing ble signalet fra kilden v_0 , sendt inn i bufferet. Inngangssignalet og utgangssignalet ble plottet og er vist i Figur 6. Som figuren viser har utgangssignalet en amplitude på 480mV. Det er et amplitudeavvik på 20mV som tilsvarer en demping av inngangssignalet på 4%.



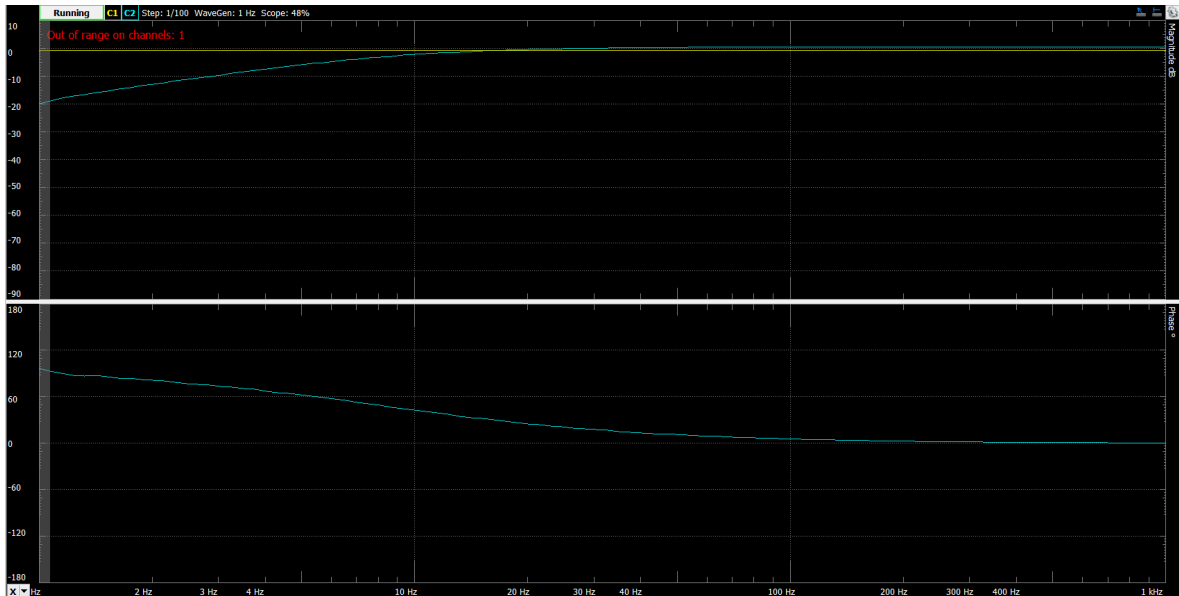
Figur 6: Resultatet av testingen. Gul: Inngangssignal, Blå: Utgangssignal.

Ved å gradvis øke amplituden til inngangssignalet, ble den maksimale amplituden inngangssignalet kunne ta før en synlig forvrengning oppstod undersøkt. Resultatet er vist i Figur 7, som viser inngangssignalet og utgangssignalet i øyeblikket hvor synlig forvrengning oppstod. Som figuren viser, er amplituden til inngangssignalet i det øyeblikket 1.3V. Ettersom det bare oppstår klipping på negative spenninger, tyder dette på arbeidspunktet V_E , ligger “for lavt” -dvs. $V_E < \frac{V_{CC}}{2}$.



Figur 7: Utgangssignalet (blå) og inngangssignalet (gul) i det forvrengningen ble synlig.

Til slutt ble signal med frekvenser fra 0Hz opp til 10kHz sendt inn i bufferet og frekvensrespon- sen ble undersøkt. Figur 8 viser bufferets amplitude og faserespons. Fra amplituderesponen er det tydelig at bufferet har en knekkfrekvens $f_c \approx 10Hz$. Faseresponen blir ikke diskutert i dette designnotatet.



Figur 8: Frekvensresponen til kretsen. Amplituderesopnsen er plottet oppe, faseresponen nede. Faseresponen vil ikke bli diskutert.

4 Konklusjon

Det har blitt designet og implementert et buffer ved transistoren BC547. Bufferet har et amplitudeavvik på 4%, og kan ta imot inngangssignal med en maksimal amplitude på 1.3V. Hvorvidt dette er et godt resultat og til hvilken grad det oppfyller (1) kommer ann på kravet stilt av forbruker. Det konkluderes likevel med at designprosessen har vært vellykket ettersom bufferet har levert en betraktelig høyere effekt til lasten, enn det signalkilden alene kunne klart. En tydelig svaket ved det realiserte bufferet er at arbeidspunktet V_E ligger for lavt, ettersom det kun oppstod klipping for negative spenningsnivåer. Ved øke motstanden R_E vil arbeidspunktet ligge nærmere $\frac{V_{CC}}{2}$ og følgelig vil bufferet tåle en større amplitude på inngangssignalet. En annen mulig forbedring kan være å minke resistansen i spenningsdelingen, slik at basestrømmen, og collectorstrømmen, blir større og følgelig også arbeidspunktet V_E . Brukeren som implenemter disse mulige forbedringene bør være klar over at en økning av R_E øker utgangsmotstanden, og en minking av motstandene i spenningsdelingen, minker inngangsmotstanden.

Referanser

- [1] Lars Lundheim, *Designprosjekt 5: Buffer*, NTNU, 2018.

- [2] ON Semiconductor, *BC547 Datasheet*, 2018.
- [3] Digilent *Waveforms software - Product description*
Sist hentet 10 Jan 2018.
<https://store.digilentinc.com/waveforms-previously-waveforms-2015/>
- [4] Digilent *Analog Discovery 2 - Reference Manual*
Utstyr anskaffet Januar 2018.
<https://reference.digilentinc.com/reference/instrumentation/analog-discovery-2/reference-manual>
- [5] Analog Devices, *LTSpice documentation*
sist sjekket 02.12.18
<https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>