



Designnotat

Tittel: Variabel nivåregulator (dempede)

Forfattere: Mia Elisenberg

Versjon: 1.0

Dato: 12. januar 2020

Innhold

1	Problembeskrivelse	2
2	Prinsipiell løsning	3
3	Realisering og test	5
3.1	Komponenter og oppbygning	5
3.2	Test	9
4	Konklusjon	12
5	Takk	12
Referanser		12
A	Fullstendige utregninger	13

1 Problembeskrivelse

Dette designnotatet tar for seg designet av et system for en nivåregulator som vist i figur 2. Systemet består av tre deler: en kilde, selve nivåregulatoren og en last.



Figur 1: Systemets deler.

Nivåregulatoren skal fungere som et dempeledd som gir variabel demping i et amplitudeområde fra $-A_{min} = -10$ til $-A_{max} = -25$ dB, og de realiserte verdiene for A_{min} og A_{max} skal være mindre enn 0.1 dB fra spesifisert verdi. Kilden skal sende et sinussignal $v_1(t)$ inn til nivåregulatoren med en frekvens $f = 1000$ Hz, via en utgangsmotstand $R_K \approx 0$. Nivåregulatoren leverer videre et signal $v_2(t)$, gitt som

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

til lasten, som antas å ha en verdi $R_L \approx \infty$. Konstanten A bestemmer hvor mye amplituden til signalet blir endra, hvor $A > 1$ gir forsterking, og $A < 1$ gir demping. Verdien av A blir gitt i decibel (dB), gitt som

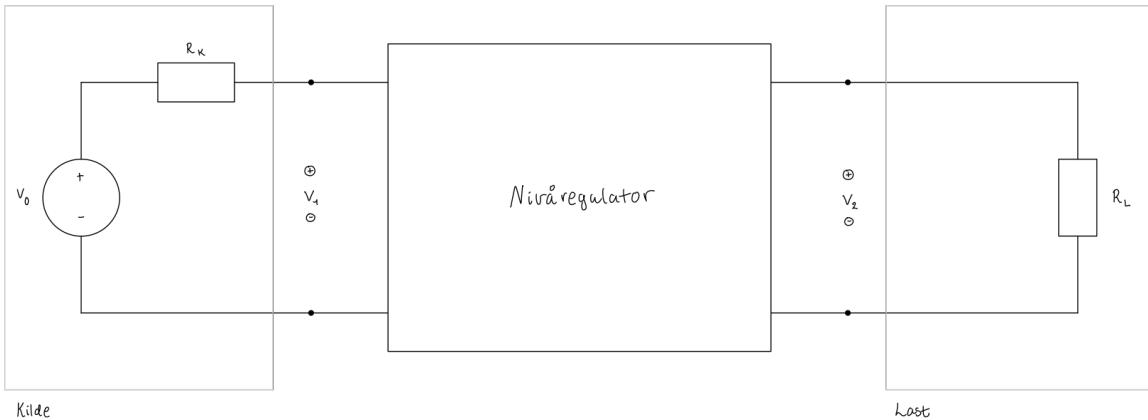
$$A[\text{dB}] = 20\log(A) \quad (2)$$

og videre er verdien av A gitt som

$$\begin{aligned} A[\text{dB}] &= 20\log(A) \\ \log(A) &= \frac{A[\text{dB}]}{20} \\ A &= 10^{\frac{A[\text{dB}]}{20}} \end{aligned} \quad (3)$$

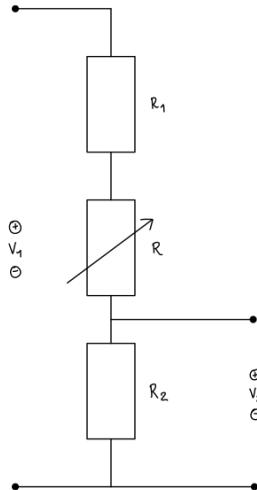
2 Prinsipiell løsning

Løsningen er basert på kretsen i det tekniske notatet [1] og vises i figur 2. Der er V_0 spenningskilden, R_K er utgangsmotstanden, v_1 er spenningen fra V_0 , v_2 er spenningen levert av nivåregulatoren, og R_L er lastmotstanden.



Figur 2: Generell nivåregulator.

Nivåregulatorens oppbygning vises i figur 3. Her deles spenningen v_1 over motstanden R_1 , den variable motstanden (potensiometeret) R og motstanden R_2 , og spenningen v_2 sendes ut til lasten (se figur 2).



Figur 3: Nivåregulator med potensiometer.

Verdiene for R_1 og R_2 er ukjente, mens verdien til R er kjent og målt med multimeter. Fullstendig utregning for hvordan en finner respektive uttrykk for disse verdiene finnes i vedlegg A. Kort sagt, så baserer utregningen seg på å bruke prinsippet med spenningsdeling og løse et likningssett med de to ukjente verdiene R_1 og R_2 . Resultatet av utregningen gir at

$$R_1 = \frac{A_{max}R(1 - A_{min})}{A_{min} - A_{max}} \quad (4)$$

og

$$R_2 = \frac{A_{min}R_1}{1 - A_{min}} \quad (5)$$

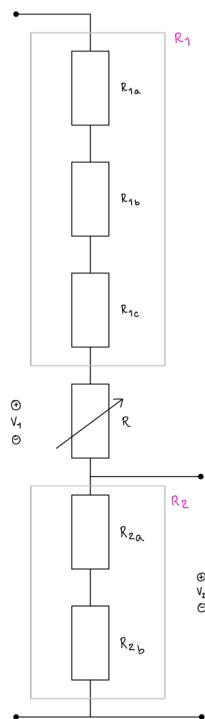
3 Realisering og test

For å realisere designet må en først finne verdier for R_1 og R_2 . Ved å bruke likning 8 får en amplitudeverdiene $A_{min} = 10^{-\frac{25}{20}}$ og $A_{max} = 10^{-\frac{10}{20}}$, og den variable motstanden R er målt til å være $R_{min} = 0$ og $R_{max} = 9.66 \cdot 10^3 \Omega$. Disse verdiene settes inn i likning 13, og da finner man at $R_1 \approx 1428.65 \Omega$. Videre, ved å sette disse verdiene inn i likning 11, så finner man at $R_2 \approx 660.72 \Omega$.

3.1 Komponenter og oppbygning

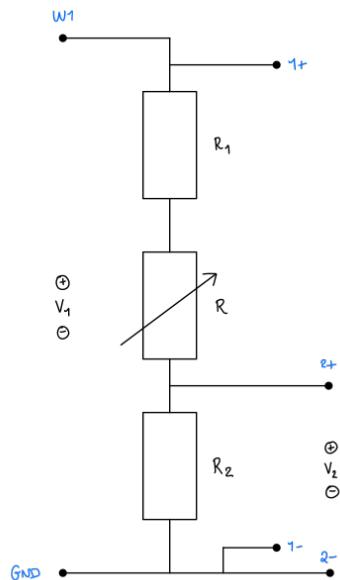
Kretsen ble satt opp på et breadboard ved hjelp av motstander av ulike verdier, et potensiometer og ledninger. Kilden som leverer spenningen v_1 er Analog Discovery 2 NI Edition av Digilent. Dette er et instrument som gjør det mulig å enkelt måle, visualisere, generere, ta opp og kontrollere blanda-signal-kretser av alle typer. Denne ble kobla til en laptop og så inn i kretsen.

De tilgjengelige motstandene for designprosjektet kunne ikke kobles alene til kun én motstand for R_1 . Dermed ble tre motstander (R_{1a} , R_{1b} , R_{1c}) kobla i serie for å danne en verdi av R_1 så nærmest den beregna verdien $R_1 \approx 1428.65\Omega$ som mulig. Det samme gjaldt R_2 , som dermed ble kobla i serie med to motstander (R_{2a} , R_{2b}). Dermed ble kretsen vist i figur 3 satt opp som vist i figur 4.



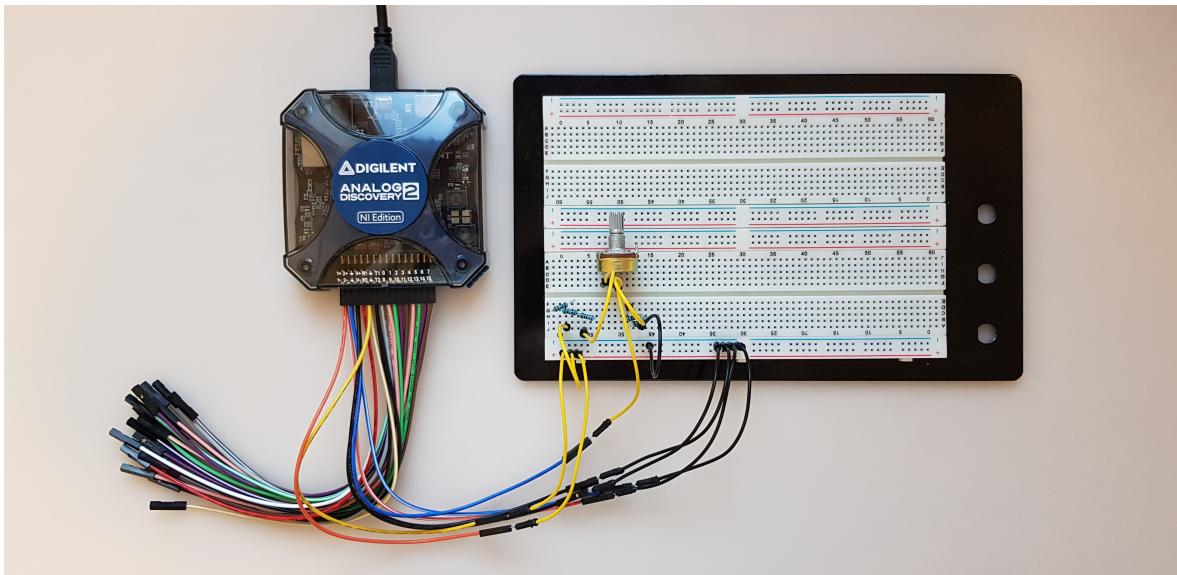
Figur 4: Nivåregulator med potensiometer og utvida motstand R_1 .

Kretskjemaet i figur 5 viser hvordan ledningene fra Analog Discovery 2 (Digilent) er kobla til kretsen (blå tekst). Der går $W1$ fra Digilent til plussida av breaboard, $1+$ går inn i R_1 , ut av potensiometeret og inn i R_2 går $2+$, ut av R_2 går $1-$ og $2-$ til jord (GND), i tillegg til at slutten av kretsen går til jord.

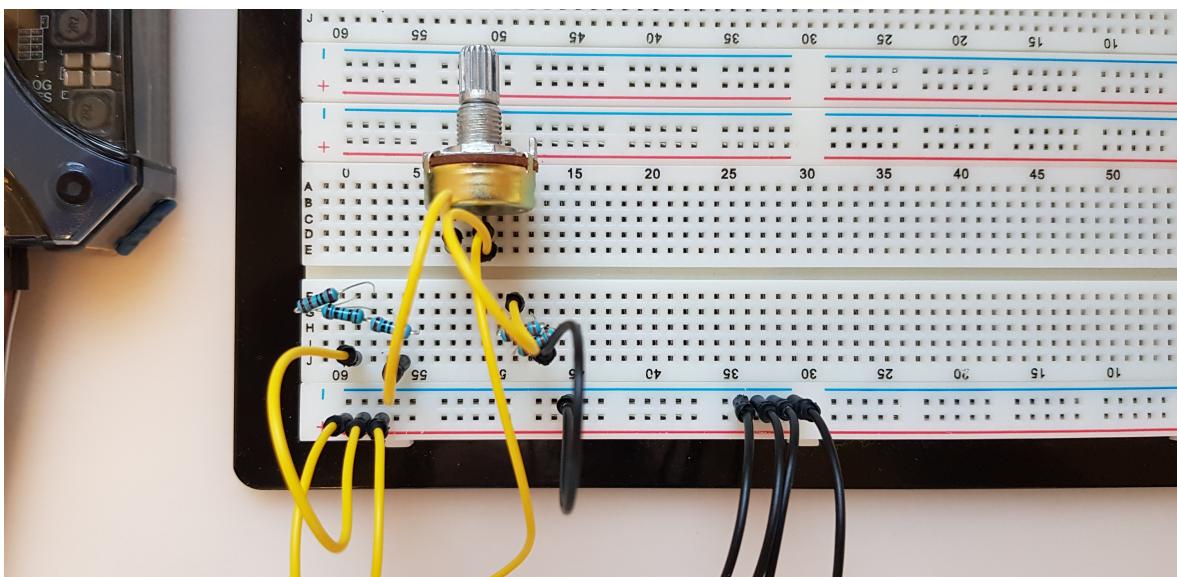


Figur 5: Kretskjema av den fullstendige kretsen.

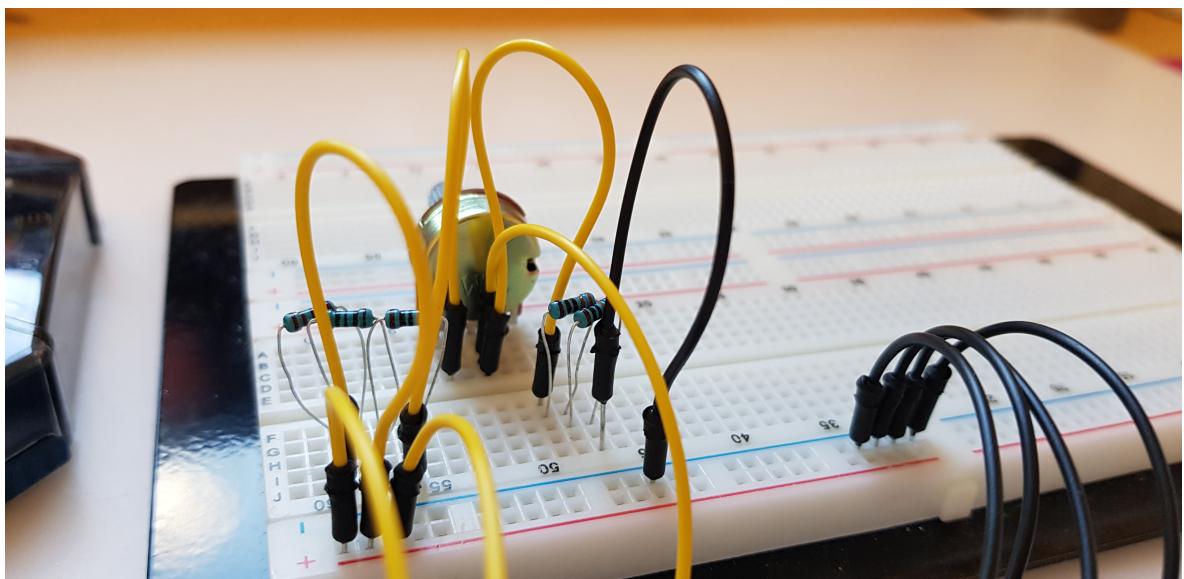
Figur 6 viser hvordan den endelige realiserte kretsen ser ut i praksis. De neste figurene (7, 8) viser også hvordan kretsen ser ut i praksis.



Figur 6: Den fullstendige kretsen i praksis (1).



Figur 7: Den fullstendige kretsen i praksis (2).



Figur 8: Den fullstendige kretsen i praksis (3).

3.2 Test

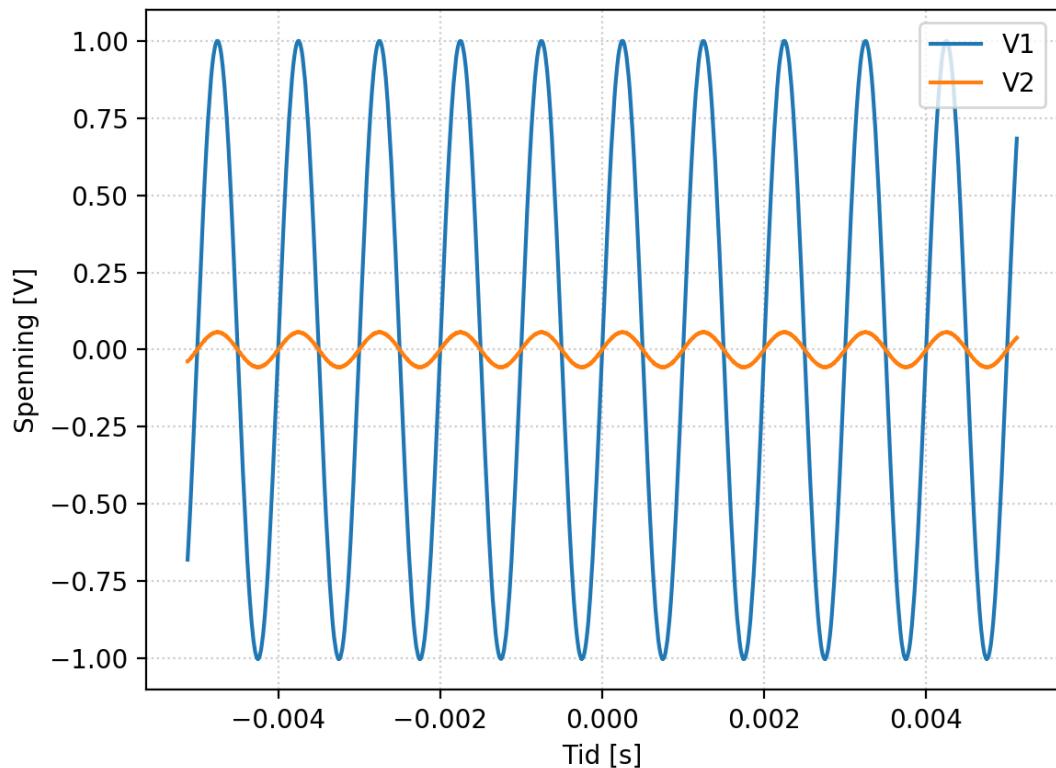
Programmet Waveforms, av Digilent, ble brukt til å sende sinussignalet v_1 og måle amplituden A . Testene ble gjort ved hjelp av programmets wave generator, scope (oscilloscope) og måleinstrumenter. Kretsen ble testa flere ganger med ulike motstandsverdier for å prøve å få verdiene av A_{min} og A_{max} til å bli mindre enn 0.1 dB fra de spesifiserte verdiene, og formelen for å finne decibel-verdiene av A_{min} og A_{max} er likning 2. Tabell 1 viser alle testresultatene for de ulike kombinasjonene av motstandsverdier.

Tabell 1: Alle testresultater.

Test	A [mV]	A_{max} [dB]	A_{min} [dB]	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]
1	57.890		-24.75	$1003+99.5+328.9=1431.4$	673.6
1	321.35	-9.86		$1003+99.5+328.9=1431.4$	673.6
2	57.553		-24.80	$1003+470.1=1473.1$	673.6
2	315.11	-10.03		$1003+470.1=1473.1$	673.6
3	55.021		-25.19	$1003+470.1=1473.1$	$328.9+220.3+99.5=648.7$
3	304.13	-10.34		$1003+470.1=1473.1$	$328.9+220.3+99.5=648.7$
4	55.359		-25.14	$1003+99.5+328.9=1431.4$	$328.9+220.3+99.5=648.7$
4	309.70	-10.18		$1003+99.5+328.9=1431.4$	$328.9+220.3+99.5=648.7$
5	55.865		-25.06	$1003+199.9+220.8+10.10=1433.8$	$328.9+331.6=660.5$
5	305.49	-10.3		$1003+199.9+220.8+10.10=1433.8$	$328.9+331.6=660.5$
6	56.203		-25.00	$1003+99.5+328.9=1431.4$	$328.9+331.6=660.5$
6	314.60	-10.04		$1003+99.5+328.9=1431.4$	$328.9+331.6=660.5$

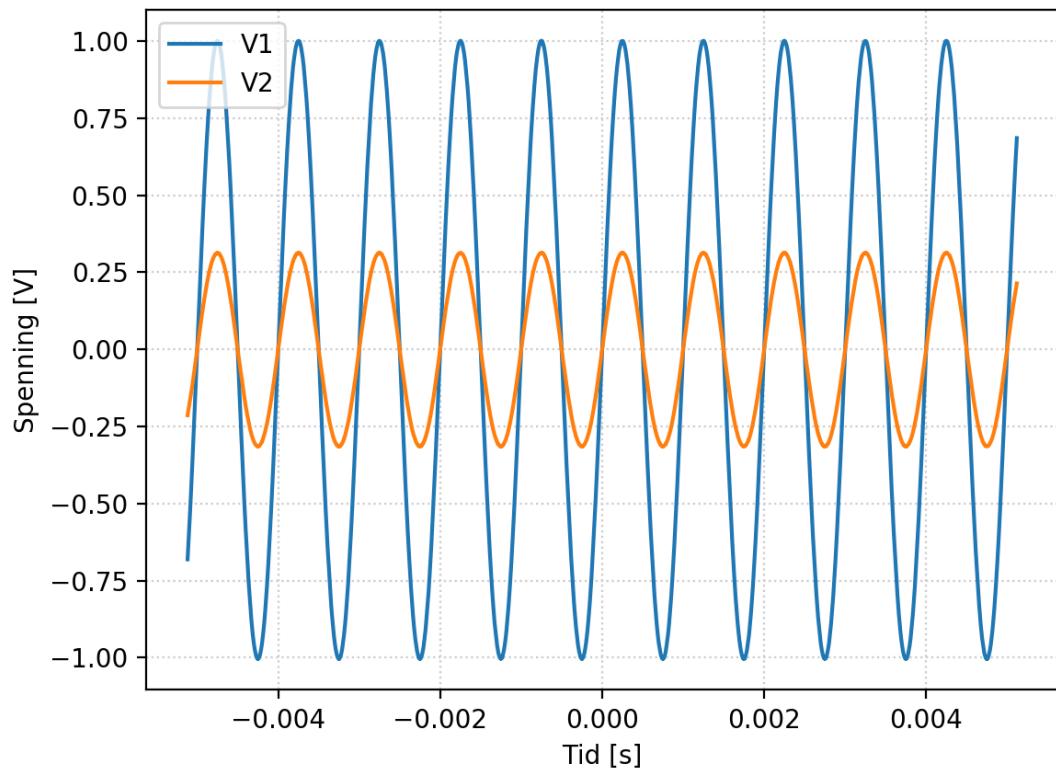
De ideelle verdiene for R_1 og R_2 er $R_1 \approx 1428.65\Omega$ og $R_2 \approx 660.72\Omega$. Den siste testen bruker verdiene $R_1 \approx 1431.4\Omega$ og $R_2 \approx 660.5\Omega$, og dette fører til min-max-verdier av A som oppfyller kravspesifikasjonen om å være mindre enn 0.1 dB fra spesifisert verdi. Her er $A_{min} = -25.00$ og $A_{max} = -10.04$. Teorien stemmer med praktisk implementering.

Figur 9 viser hvordan $v_1(t)$ (blå graf) dempes maksimalt med det realiserte systemet. Den oransje grafen viser $v_2(t)$, som er resultatet av dempinga. Grafene er plotta som funksjoner av spenningen i volt over tiden i sekunder.



Figur 9: Maksimal demping med amplitudeverdi for v_2 på $A = 0.056203\text{V}$.

Figur 10 viser hvordan $v_1(t)$ (blå graf) dempes minimalt med det realiserte systemet. Den oransje grafen viser $v_2(t)$, som er resultatet av dempinga. Grafene er plotta som funksjoner av spenningen i volt over tiden i sekunder.



Figur 10: Minimal damping med amplitudeverdi for v_2 på $A = 0.3146\text{V}$.

4 Konklusjon

I praksis viste det seg at komponentene fungerte som forventa. Etter testing, så viser det seg at motstandsverdiene $R_1 \approx 1431.4\Omega$ og $R_2 \approx 660.5\Omega$ gir verdiene $A_{min} = -25.00$ og $A_{max} = -10.04$, som oppfyller kravspesifikasjonene om at realiserte verdier skal være mindre enn 0.1 dB fra de spesifiserte verdiene. Kun verdien A_{max} har et avvik, da på 0.04 dB. For å konkludere, så fungerer systemet svært godt og oppfyller kravspesifikasjonene.

5 Takk

Takk til Stud. Marie Eriksen Grude, Stud. Anders Lundberg og Stud. Kim Anh Doan for godt samarbeid og nyttige diskusjoner om både teori og praktisk implementering av designprosjektet.

Referanser

- [1] L. Lundheim, *Variabel nivåregulator*, Teknisk notat, Elsys-2017-LL-1, NTNU 2017.

A Fullstendige utregninger

Oppsummering av utregningene

Bestemmelse av R_1 og R_2 gjøres ved å finne to likninger med de to ukjente motstandene R_1 og R_2 . Disse likningene løses og gir formler for hver mostandsverdi uttrykt ved de kjente verdiene A_1 , A_2 og R . Til slutt settes inn de kjente tallverdiene, og en ender opp med verdiene for R_1 og R_2 .

Spenningen v_1 deles over de tre motstandene R_1 , R og R_2 . Formelen for slik spenningsdeling er gitt som

$$V_x = V_s \frac{R_x}{\text{sum av alle motstander}} \quad (6)$$

hvor V_x er den ønskede spenningsverdien, V_s er spenningskilden, og R_x er motstanden den ønskede spenningen ligger over. Ved å bruke formelen 1 på kretsen gitt i figur 3, så blir spenningen v_2 uttrykt som

$$v_2 = v_1 \frac{R_2}{R_1 + R + R_2} \quad (7)$$

Videre, av likning 2, så er

$$\begin{aligned} v_2(t) &= A v_1(t) \\ A v_1(t) &= v_1 \frac{R_2}{R_1 + R + R_2} \\ A &= \frac{R_2}{R_1 + R + R_2} \end{aligned} \quad (8)$$

Det er ønskelig å finne verdier av A_{min} og A_{max} , og ved hjelp av likning 8, så blir disse respektivt uttrykt i likning 9 og 10.

$$A_{min} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10^{-\frac{25}{20}} \quad (9)$$

$$A_{max} = \frac{R_2}{R_1 + R + R_2} = 10^{-\frac{10}{20}} \quad (10)$$

Likning 9 og 10 har to ukjente verdier: R_1 og R_2 . For å finne disse verdiene vil likning 9 og 10 bli brukt til å finne to respektive uttrykk for R_2 , vist i likning 11 og 12.

$$\begin{aligned}
A_{min} &= \frac{R_2}{R_1 + R_2} \\
A_{min}(R_1 + R_2) &= R_2 \\
A_{min}R_1 + A_{min}R_2 &= R_2 \\
A_{min}R_1 &= R_2 - A_{min}R_2 \\
A_{min}R_1 &= R_2(1 - A_{min}) \\
R_2 &= \frac{A_{min}R_1}{1 - A_{min}}
\end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
A_{max} &= \frac{R_2}{R_1 + R + R_2} \\
A_{max}(R_1 + R + R_2) &= R_2 \\
A_{max}R_1 + A_{max}R + A_{max}R_2 &= R_2 \\
A_{max}(R_1 + R) &= R_2 - A_{max}R_2 \\
A_{max}(R_1 + R) &= R_2(1 - A_{max}) \\
R_2 &= \frac{A_{max}(R_1 + R)}{1 - A_{max}}
\end{aligned} \tag{12}$$

Ved å sette likning 11 og 12 like hverandre, så vil en finne et uttrykk for R_1 , vist i likning 13.

$$\begin{aligned}
R_2(11) &= R_2(12) \\
\frac{A_{min}R_1}{1 - A_{min}} &= \frac{A_{max}(R_1 + R)}{1 - A_{max}} \\
A_{min}R_1(1 - A_{max}) &= A_{max}(R_1 + R)(1 - A_{min}) \\
A_{min}R_1 - A_{min}A_{max}R_1 &= A_{max}R_1 - A_{min}A_{max}R_1 + A_{max}R - A_{min}A_{max}R \\
[\text{subtraher } (A_{max}R_1 - A_{min}A_{max}R_1)] &= \text{fra begge sider} \\
A_{min}R_1 - A_{max}R_1 &= A_{max}R - A_{min}A_{max}R \\
R_1(A_{min} - A_{max}) &= A_{max}R(1 - A_{min}) \\
R_1 &= \frac{A_{max}R(1 - A_{min})}{A_{min} - A_{max}}
\end{aligned} \tag{13}$$

Ved å sette inn verdiene $A_{min} = 10^{-\frac{25}{20}}$, $A_{max} = 10^{-\frac{10}{20}}$ og $R = 9.66 \cdot 10^3 \Omega$ i likning 13, så finner man at $R_1 \approx 1428.65 \Omega$. Videre, ved å sette disse verdiene inn i likning 11, så finner man at $R_2 \approx 660.72 \Omega$.