



# Designnotat

Tittel: Variabel nivåregulator

Forfattere: Håkon Kartveit Mikalsen

Versjon: 1.0

Dato: 21.01.2025

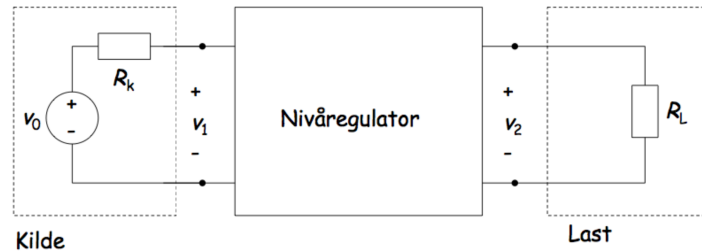
## Innhold

<b>1</b>	<b>Problembeskrivelse</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Prinsipiell løsning</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Realisering og test</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>Takk</b>	<b>7</b>
<b>Referanser</b>		<b>8</b>
<b>A</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>8</b>

---

# 1 Problembeskrivelse

Vi skal ta for oss en nivåregulator som illustrert i [Figur 1](#).



**Figur 1:** Nivåregulator med inngang  $v_1$  og utgang  $v_2$ .

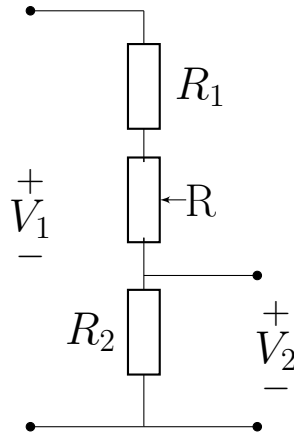
Dette systemet tar inn et inngangssignal,  $V_1(t)$ , som levers av en kilde,  $V_0(t)$ , med tilhørende intern motsand  $R_k$ . Videre har den et utgangssignal,  $V_2(t)$ , som er koblet til en last  $L$ , bestående av en motstand  $R_L$ . Utgangssignalet  $V_2(t)$  er proporsjonalt med inngangssignalet  $V_1(t)$  og konstanten  $A$  slik at:

$$V_2(t) = A \cdot V_1(t) \quad (1)$$

Videre ønsker vi å kunne variere  $A$  mellom to spesifiserte punkter  $A_{min}$  og  $A_{max}$  som skaper en variabel nivåregulator. Denne reguleringen skal skje med et dreibart element. Begge disse punktene  $A$  ligger mellom 0 og 1 slik at for et hvert punkt vil nivåregulatoren fungere som et dempeledd. For denne implementeringen av systemet skal  $A$  reguleres innenfor intervallet  $A[\text{dB}] \in [-15\text{dB}, -6\text{dB}]$  med en nøyaktighet på  $\pm 0.1\text{dB}$ . Kilden skal som tidligere nevnt bestå av en spenningsforsyning  $V_0(t)$  som skal generere et sinussignal på 1kHz og en intern motstand  $R_k$ . Denne antas å være tilnærmet  $0\Omega$ . Lasten  $R_L$  antas å ha tilnærmet uendelig stor motstand.

## 2 Prinsipiell løsning

Det finnes flere forskjellige prinsipper som kan tas i bruk for å oppfylle kravene til en slik demper. Her skal vi se på en som bygger på spenningsdeling. Prinsippet er illustrert i [Figur 2](#).

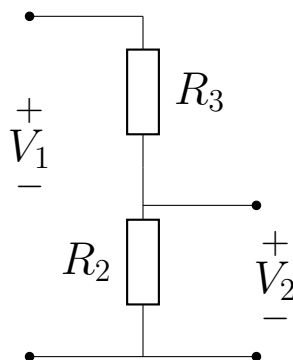


**Figur 2:** Prinsipiell løsning for variabel demper.

Inngangssignalet  $V_1$  koblet over to konstante motstander  $R_1$  og  $R_2$  og en variabel motstand  $R$ , som alle er koblet i serie. Videre er utgangen  $V_2$  koblet opp slik at:

$$V_2(t) = V_{R_2} \quad (2)$$

Den variable motstanden har en motstand mellom  $R_{pmin}$  og  $R_{pmaks}$ . Fra dette forenkles kretsen til to tilsander, en for hvert ytterpunkt, og kombinere motstanden  $R_1$  og  $R$  til en motstand  $R_3$  slik som illustrert i [Figur 3](#).



**Figur 3:** Forenklet krets for demper.

Spenningen over  $R_2$  og derfor også  $V_2(t)$  da:

$$V_{R_2} = V_2(t) = V_1 \cdot \frac{R_2}{R_3 + R_2}$$

$V_2(t)$  byttes så med definisjonen gitt ved [Ligning 1](#) som gir:

$$\begin{aligned} V_2(t) &= V_1(t) \cdot \frac{R_2}{R_3 + R_2} \\ V_1(t) \cdot A &= V_1(t) \cdot \frac{R_2}{R_3 + R_2} \\ A &= \frac{R_2}{R_3 + R_2} \end{aligned} \quad (3)$$

Fra dette ser vi at blant annet at spenningen til inngangssignalet er vilkårlig og ikke inngår i demping nivået senere. Dette danner to ligninger siden både  $A$  og  $R_3$  har to ytterpunkter.  $A_1$  defineres som den minste dempingen og  $A_2$  som den største dempingen. Vider defineres  $R_{31}$  og  $R_{32}$  slik:

$$R_{31} = R_1 + R_{pmin} \quad (4)$$

$$R_{32} = R_1 + R_{pmaks} \quad (5)$$

Siden  $R_{31} < R_{32}$  vil det også føre til at det i denne tilstanden vil det ligge mer spenning over  $R_2$ . Dette fører til minst demping og  $A_1$  tilhører derfor denne tilstanden. Dette gir oss ligningssystemet:

$$\begin{aligned} A_1 &= \frac{R_2}{R_{31}} \\ A_2 &= \frac{R_2}{R_{31}} \end{aligned}$$

$R_{31}$  og  $R_{32}$  byttes ut av definisjonene gitt i [ligning 4](#) og [5](#). Dette gir ligningene for motstand  $R_1$  og  $R_2$  for ønsket demping:

$$R_1 = \frac{A_1 \cdot A_2 \cdot (R_{pmin} - R_{pmaks}) - A_1 \cdot R_{pmin} + A_2 \cdot R_{pmaks}}{(A_1 - A_2)} \quad (6)$$

$$R_2 = A_1 \cdot A_2 \cdot \frac{R_{pmaks} - R_{pmin}}{A_1 - A_2} \quad (7)$$

Siden  $A$  i ligningene er gitt som konstanter, mens  $A(A[\text{dB}])$  i kravene er oppgitt i desibel, må dette omformes for utregningen. Dette gjøres ved å bruke forholdet mellom desibel og konstanter, slik som gitt med [Ligning 8](#) [1]. Denne må så løses på hensyn med  $A$  som gir oss formelen for  $A$  gitt  $A[\text{dB}]$  slik som vist i [Ligning 9](#).

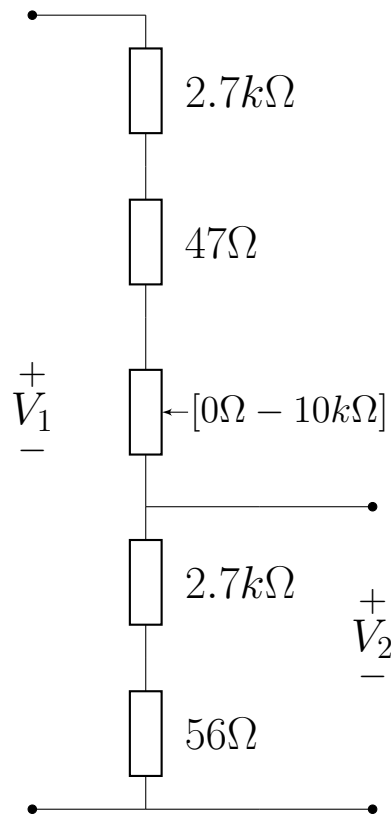
$$A[\text{dB}] = 20 \lg A \quad (8)$$

$$A = 10^{\frac{A[\text{dB}]}{20}} \quad (9)$$

### 3 Realisering og test

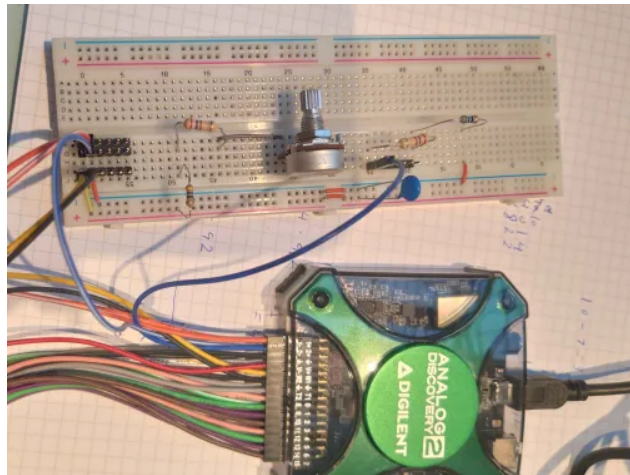
Den prinsipielle løsningen baserer seg på tre gitte motstandsverdier og to verdier for A. Man står derfor fritt til å tilpasse disse verdiene til en gitt applikasjon. Her velges det en variabel motstand med oppgitt motstand på  $10k\Omega$  som er  $R_{pmaks}$ .  $R_{pmin}$  antas å være tilnærmet likt  $0\Omega$ .  $A[\text{dB}]$  verdiene er definert i systemkravene.  $R_1$  og  $R_2$  kan derfor regnes ut fra [Ligning 6](#) og [Ligning 7](#).

Fra gitte spesifikasjoner skal de resterende motstandene  $R_1$  og  $R_2$  være henholdsvis  $2743\Omega$  og  $2756\Omega$ . Ingen av disse ligger relativt nært standard verdier for motstander alene. Derfor blir det tatt i bruk to motstander i serie for å skape bedre tilnærmede verdier. For  $R_1$  brukes en  $2.7k\Omega$  motstand og en  $47\Omega$  motstand. For  $R_2$  brukes en  $2.7k\Omega$  motstand og en  $56\Omega$  motstand. Denne oppkoblingen er illustrert i [Figur 4](#).



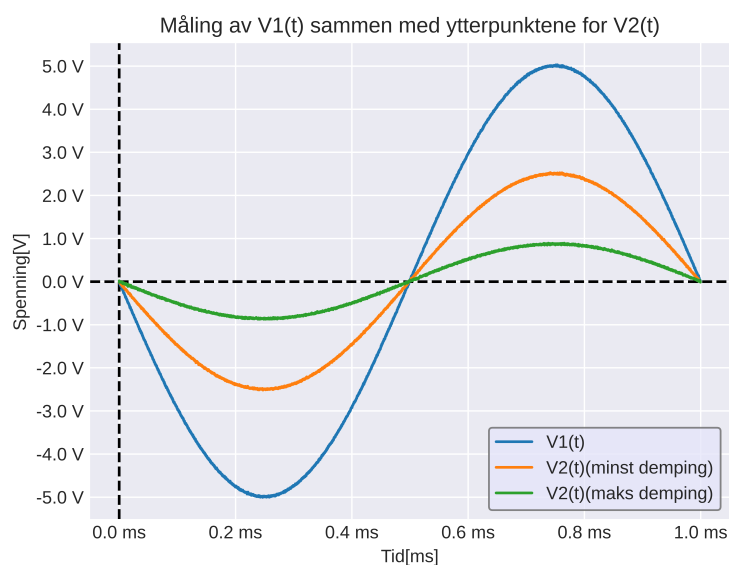
**Figur 4:** Løsning med brukte verdier

En signalgenerator brukes for å generere inn signalet  $V_1(t)$ .  $V_1(t)$  er et sinussignal signal med amplitude på 5V og frekvens på 1kHz. Denne spenningen er valgt vilkårlig, som vi kan gjøre som vist tidligere i seksjon 2 med [Ligning 3](#). Med små spenningsverdier vil derimot støy være mer betydelig så derfor er høyere spenninger mer gunstig. Samtidig måles inngangssignalet og utgangssignalet ved bruk av et oscilloskop. Videre blir verdiene lagret av samme instrument. Den ferdige oppkoblingen er vist i [Figur 5](#).



**Figur 5:** Fysisk oppkobling av krets.

Disse målingene ble så analysert og fremstilt med et pythonscript som gir oss følgende resultat som vist i [Figur 6](#) og [Tabell 1](#). Fullstendig kode og data er lagt i vedlegg 1.



**Figur 6:** Måleverdier for  $V_1(t)$  og  $V_2(t)$  for begge dempningsnivå

**Tabell 1:** Sammenligning av teoretiske og målte verdier

$A^{\text{teoretisk}}$ [dB]	$V_2(t)^{\text{teoretisk}}$ [V]	$V_2(t)^{\text{målt}}$ [V]	$A^{\text{målt}}$ [dB]	$A^{\text{differanse}}$ [dB]
-6	2.50594	2.52886	-5.97237	0.0276289
-15	0.88914	0.89246	-15.0191	0.0191296

De teoretiske spenningsverdiene er utregnet med definisjonene for  $V_2(t)$  og definisjonen for desibel gitt i [Ligning 1](#) og [Ligning 9](#). For å regne ut  $A^{\text{målt}}$  ble formelen for desibel forsterkingen mellom spenningsnivået ut gitt ved  $u_u$  og spenningsnivået inn gitt ved  $u_i$  slik som vist i [Ligning 10](#) [1].

$$A[\text{dB}] = 20 \cdot \lg\left(\frac{u_u}{u_i}\right) \quad (10)$$

I dette tilfellet er disse gitt ved  $u_u = \max\{V_2(t)^{\text{målt}}\}$  og  $u_i = \max\{V_1(t)\}$  for hver av dempingsnivåene. For hver målingene er avviket mellom teoretisk og målt demping oppført med den absolutte differansen målt i desibel, gitt ved [Ligning 11](#).

$$A^{\text{differanse}} = |A^{\text{målt}} - A^{\text{teoretisk}}| \quad (11)$$

Fra dette ser vi at verdiene er innenfor kravet på 0.1dB. Disse resultatene kan fortsatt forbedres ved å måle  $R_{p\max}$  og  $R_{p\min}$  og justere motstandsverdier  $R_1$  og  $R_2$  etter dette, men for dette designet er dette ikke nødvendig. For en implementering av et design med laster som ikke kan antas å være uendelig store burde også en op-amp eller lignende implementeres som en buffer.

## 4 Konklusjon

Det er designet en variabel nivåregulator med bruk av en  $10\text{k}\Omega$  variabel motstand og fire motstander med tilnærmet samlede verdier på  $2743\Omega$  og  $2756\Omega$ . Designet ble testet med et sinus signal med amplitude på 5V og 1kHz. Dette resulterte i en demping på mellom -15dB til -6dB innenfor  $\pm 0.03\text{dB}$  eller mindre.

## 5 Takk

Helga Therese Tomaszewski Vrenne, Jakob Furnesvik Eikeland og Ask Scott Darup for gode diskusjoner og tips.



## Referanser

- [1] K. Hofstad, *desibel*, SNL.no, Hentet fra: <https://snl.no/desibel> (Lastet ned: 18.01.2025)

## A Vedlegg

1. [Kode på GitHub](#)