

Bepaling van RC-tijdconstanten en kantelfrequentie van hoge- en laagdoorlaatfilters

Semih Can Karakoç (695258)

29 januari 2023

Inhoudsopgave

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Inleiding | 3 |
| 2 | Probleem- en doelstelling | 4 |
| 3 | Benodigdheden | 5 |
| 4 | Theoretisch kader | 6 |
| 4.1 | RC-tijd | 6 |
| 4.2 | Hoog- en laagdoorlaatfilters | 7 |
| 4.3 | De overdracht van een RC filter bepalen | 7 |
| 4.4 | De kantelfrequentie | 8 |
| 5 | Opdracht 1 | 9 |
| 5.1 | De berekende waarde van de tijdconstante van schakeling 1 | 10 |
| 5.2 | De bijbehorende laadcurve van de aangelegde spanning | 10 |
| 5.3 | Bepaal aan de hand van metingen de tijdconstante van deze schakeling | 11 |
| 5.4 | Maak de laadcurve zichtbaar op de oscilloscoop | 12 |
| 5.5 | Verklaring waarom de berekende waarde van de tijdconstante afwijkt van de gemeten waarde | 13 |
| 5.6 | Hoe kunnen we de tijdconstante halveren? | 13 |
| 6 | Opdracht 2 | 14 |
| 6.1 | Berekenen van de overdracht voor verschillende frequenties | 15 |
| 6.2 | Bepaal het type filter | 16 |
| 6.3 | Berekenen van de kantelfrequentie | 16 |
| 6.4 | Teken de bij het filter behorende frequentieresponse | 17 |
| 6.5 | Bepaal aan de hand van metingen of de berekende kantelfrequentie en overdrachten kloppen | 18 |
| 7 | Opdracht 3 | 20 |
| 7.1 | Berekenen van de overdracht voor verschillende frequenties | 21 |
| 7.2 | Bepalen van het type filter | 22 |
| 7.3 | Berekenen van de kantelfrequentie | 22 |
| 7.4 | Teken de bij het filter behorende frequentieresponse | 23 |
| 7.5 | Bepaal aan de hand van metingen of de berekende kantelfrequentie en overdrachten kloppen | 24 |
| 8 | Conclusie | 27 |
| 9 | Bronvermelding | 29 |

1 Inleiding

In dit practicum is onderzocht naar de werking van RC-schakelingen. Het doel is om verschillende aspecten van deze schakelingen te begrijpen en te kunnen berekenen, zoals de RC-tijdconstante, de kantelfrequentie en de overdracht van een RC filter. Daarvoor zijn er drie experimenten uitgevoerd en zijn de bijbehorende meetgegevens verzameld en verwerkt in dit verslag. Deze gegevens zullen we vervolgens interpreteren, met als doel om tot een goed begrip van de werking van RC schakelingen te komen. Het verslag zal eerst de theorie behandelen en daarna ingaan op de bijbehorende opdrachten, de onderzoeksvragen en tenslotte eindigen met een conclusie.

2 Probleem- en doelstelling

Dit verslag bevat twee onderzoeksvragen, namelijk:

1. *“Hoe berekenen we de tijdconstante van een RC schakeling?”*;
2. *“Hoe berekenen we de kantelfrequentie en de overdracht van een RC filter?”*.

De volgende doelstellingen die horen bij dit practicum zijn:

1. RC tijdconstanten te kunnen berekenen;
2. Het type filter te kunnen bepalen;
3. De kantelfrequentie en overdracht van een RC filter te kunnen berekenen;
4. De bijbehorende meetgegevens op een juiste wijze te verkrijgen.

Aan het einde van dit verslag onder het kopje 8: *“Conclusie”* zal de probleemstelling beantwoord worden!

3 Benodigheden

Hieronder zijn de benodigheden benoemd die essentieel zijn voor tijdens het practicum:

1. Een oscilloscoop: een oscilloscoop is een apparaat dat gebruikt wordt om elektrische signalen te meten en weer te geven op een scherm. Hiermee kun je de vorm, de frequentie en de amplitude van het signaal bepalen [1];
2. Twee meetprobes: meetprobes zijn soort verleng/aansluitdraden die gebruikt worden om elektrische signalen op te nemen en/of te versterken. Ze worden aangesloten op de oscilloscoop om signalen op te nemen en te analyseren [2];
3. Een patroongenerator: een patroongenerator is een instrument dat elektrische signalen kan genereren met behulp van vooraf ingestelde parameters, zoals de frequentie, de amplitude en de faserelatie. Met een patroongenerator kun je verschillende soorten signalen genereren om je experimenten mee uit te voeren [3];
4. Een DC spanningsbron: een DC spanningsbron is een apparaat dat constante elektrische spanning levert, zoals een batterij of een voeding. De DC spanningsbron wordt gebruikt om de RC schakelingen mee te voeden [4, 5];
5. Een breadboard: een breadboard is een apparaat waarop elektronische componenten op een eenvoudige manier met elkaar verbonden kunnen worden zonder dat ze permanent op een printplaat hoeven te worden gesoldeerd [6];
6. Een aantal snoeren: snoeren worden gebruikt om de componenten op het breadboard met elkaar te verbinden;
7. Een weerstand: een weerstand is een component dat elektrische stroom beperkt. De weerstand wordt gebruikt om de stroomsterkte in een circuit te reguleren of om spanning te verdelen over verschillende componenten [7];
8. Een condensator: een condensator is een component dat elektrische lading kan opslaan. De condensator wordt gebruikt om tijdelijk elektrische lading op te slaan en af te geven wanneer dat nodig is. In dit practicum gebruiken we de condensator om RC schakelingen mee te bouwen [8];

4 Theoretisch kader

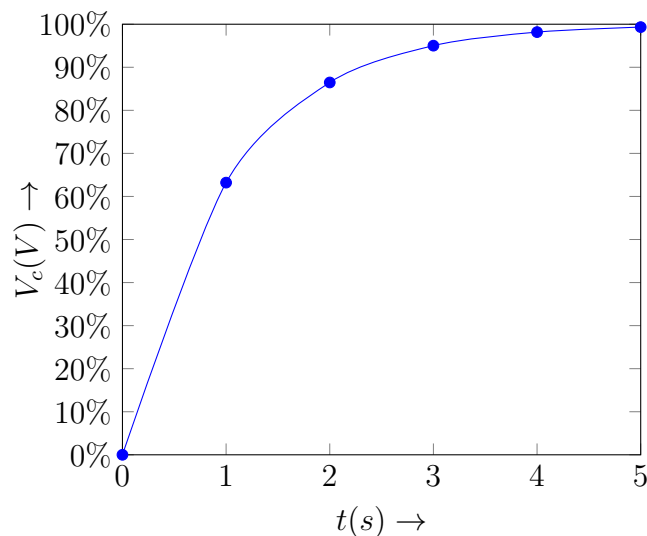
4.1 RC-tijd

Wanneer een condensator op een circuit met een weerstand is aangesloten en er een spanning op het circuit wordt aangelegd, zal de condensator opgeladen worden totdat de spanning op het circuit bereikt is. De tijd die het kost om de condensator op te laden tot 63,21% van de aangelegde spanning wordt de tijdconstante van de condensator genoemd.

Deze tijdconstante wordt aangeduid met het Griekse symbool “tau” (τ) en hangt af van de weerstand en de capaciteit van de condensator in het circuit. Deze “*ResistorCapacitor – tijd*” kan berekend worden met de volgende formule [9]:

$$\tau = R * C$$

1. τ is de RC-tijd uitgedrukt in seconden. Deze RC-tijd wordt bereikt op 63,2% bij het laden van een condensator;
2. R is de weerstandswaarde uitgedrukt in de eenheid Ω ;
3. C is de waarde van de condensator uitgedrukt in de eenheid F (Farad).



Figuur 1: Een voorbeeld van een RC-tijd laad curve, hierbij is 1 seconde = 1RC.

4.2 Hoog- en laagdoorlaatfilters

Hoogdoorlaatfilters en laagdoorlaatfilters zijn twee soorten filters die worden gebruikt in elektronica en communicatiesystemen om specifieke frequenties van het spectrum door te laten of te blokkeren. Een hoogdoorlaatfilter is een filter dat alleen hoge frequenties doorlaat, en blokkeert de lage frequenties in het spectrum. Een laagdoorlaatfilter is een filter dat juist alleen lage frequenties doorlaat, en blokkeert de hogere frequenties in het spectrum [10].

Daarnaast bestaan er ook passieve filters die bestaan uit een hoog -en laagdoorlaatfilter. Deze werken samen om een specifieke band van frequenties door te laten gaan, dit wordt ook wel een banddoorlaatfilter genoemd.

4.3 De overdracht van een RC filter bepalen

De overdracht van een RC filter kunnen we berekenen met verschillende formules. Deze formules hangen af van wat voor soort filter je gebruikt. Als je een hoogdoorlaatfilter gebruikt moeten we de volgende formule gebruiken [11]:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2\pi RC f}{\sqrt{1 + (2\pi RC f)^2}}$$

Als je te maken hebt met een laagdoorlaatfilter dan moeten we deze formule toepassen [10]:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi RC f)^2}}$$

In beide formules is: R de weerstand in Ω , C de capaciteit in F en f is de frequentie in Hz.

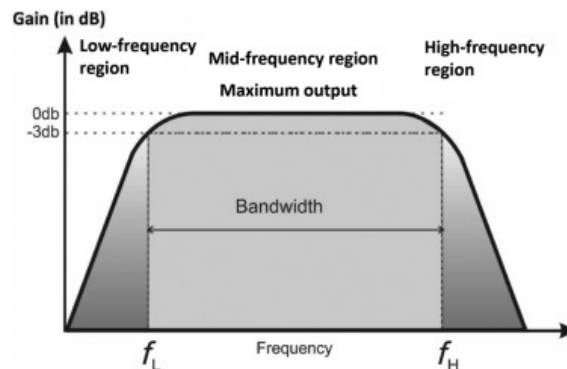
4.4 De kantelfrequentie

De kantelfrequentie is de frequentie waarbij de filter het meeste verzwakt/versterkt wordt. De kantelfrequentie kan op de volgende manier berekend worden:

$$f_k = \frac{1}{2\pi RC}$$

De kantelfrequentie van een RC filter is ook de frequentie waarbij de overdracht van het filter 3dB lager is dan de overdracht op lage frequenties. Het -3dB punt is belangrijk omdat het aangeeft hoe scherp een filter of circuit werkt. Hoe lager het -3dB punt, hoe scherper het filter of circuit is en hoe meer het onderscheid kan maken tussen signalen boven en onder de kantelfrequentie. Een filter met een lager -3dB punt zal bijvoorbeeld meer van de gewenste frequenties doorlaten en minder van de ongewenste frequenties blokkeren.

Een kantelfrequentie wordt ook meegenomen in een bijbehorende grafiek dat de "frequentieresponse" wordt genoemd. De frequentieresponse geeft aan hoe een filter reageert op verschillende frequenties van een ingangssignaal. De grafiek geeft de verhouding tussen overdracht en frequenties van de filter. Zie figuur 2 hieronder voor een voorbeeld van een frequentieresponse.



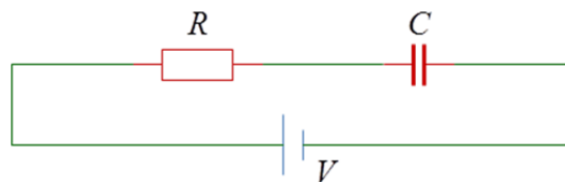
Figuur 2: Voorbeeld van een frequentieresponse [12].

5 Opdracht 1

In opdracht 1 moesten de volgende deelvragen onderzocht en beantwoord worden, namelijk:

1. Hoe bereken je de waarde van de tijdconstante van schakeling 1;
2. Plot de bijbehorende laadcurve. Geef in de laadcurve duidelijk aan wanneer de laadcurve zich op 63,2% en 99,93% van de aangelegde spanning bevindt;
3. Bepaal aan de hand van metingen de tijdconstante van deze schakeling.
4. Maak de laadcurve zichtbaar op de oscilloscoop. Neem een foto van oscilloscoop instellingen en verwerk de foto in het verslag;
5. Verklaar waarom de berekende waarde afwijkt van de gemeten waarde;
6. Hoe kunnen we de tijdconstante halveren?

In figuur 3 is de schakeling van opdracht 1 gedemonstreerd.



Figuur 3: RC schakeling van opdracht 1. Hierbij is $R = 100k\Omega$, $C = 100\mu F$ en $V_{bron} = 12V$ (DC).

5.1 De berekende waarde van de tijdconstante van schakeling 1

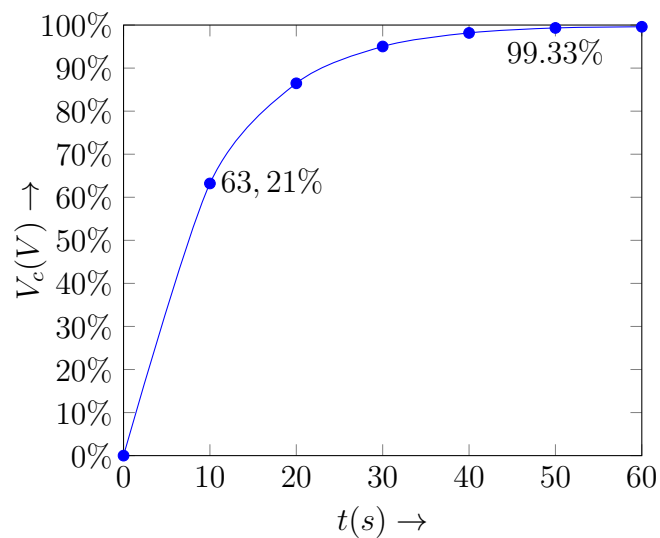
Deze tijdconstante van schakeling 1 is te berekenen door $\tau = R * C$ toe te passen. In schakeling 1 van opdracht 1 is de waarde van $R = 100k\Omega$, $C = 100\mu F$ en $V_{bron} = 12V$ (DC).

Dit betekent dat de tijdconstante op de volgende manier berekend is:

$$\tau = R * C = 100000 * (100 \times 10^{-6}) = 10 \text{ seconden.}$$

5.2 De bijbehorende laadcurve van de aangelegde spanning

De laadcurve van een RC-tijd schakeling is simpelweg een grafiek die laat zien hoe de condensator wordt opgeladen over een bepaalde tijd. De laadcurve gaat van 0% naar 63,21% naar 86,47% naar 95,02% naar 98,17% en tenslotte naar 99,33%. Op 63,21% wordt de RC-tijd bereikt (1RC), dat is in ons geval 10 seconden. Op 99,93% wordt de volledige 5RC bereikt en dat is ons geval $5 * 10 = 50$ seconden. Zie hieronder grafiek van de RC-tijd laadcurve:



Figuur 4: Een voorbeeld van een RC-tijd laadcurve, hierbij is 10 seconde = 1RC.

5.3 Bepaal aan de hand van metingen de tijdconstante van deze schakeling

De RC-tijd van schakeling 1 kan ook worden bepaald door metingen. Tijdens de meting constateer je “live” hoe de condensator wordt opgeladen tot punten, zoals 63,21% en 99,33%. Eerst moesten we even de instellingen van de oscilloscoop op de juiste wijze instellen. Daarna konden we een meting starten wanneer dat voor ons perfect uitkwam. Zie figuur 5 voor een foto van de meting van de oscilloscoop.

Uit deze foto is af te leiden dat na twee blokjes de tijd gelijk is aan 10 seconden, want zo hebben we scoop ingesteld. Ook is op dat punt te zien dat de grafiek al boven 50% van de laadcurve zit. Dit zou moeten betekenen dat de RC-tijd tussen 10 en 15 seconden moet zitten. Ook is te zien dat wanneer de lijn 45 á 50 seconden bereikt dat de laadcurve daar bijna zijn maximum heeft bereikt. Dat punt is rond de 99,5% van de lading, wat zich in dit geval bevindt rond de 45/50 seconden (afgerond 50 seconden). Al met al weten we dat de RC-tijd wellicht echt rond de 10/15 seconden moet zitten, maar dit kun je niet 100% weten, aangezien er ook afwijkingen zijn in de praktijk.



Figuur 5: Een foto van de RC laadcurve dat is vastgesteld door een oscilloscoop (1 blokje = 5 seconden).

5.4 Maak de laadcurve zichtbaar op de oscilloscoop

Om de laadcurve zichtbaar te laten maken door de oscilloscoop, moet de spanning over de condensator gemeten worden als functie van de tijd. Dit hebben we gedaan door de zwart klem (-) aan te sluiten aan de massa van de schakeling en de rode klem (+) aan te sluiten op de condensator. Op de oscilloscoop hebben we ingesteld de scoop 5V per 5 seconden een meting doet, ook dit kun je terug zien in figuur 9. Tenslotte is de scoop natuurlijk ingesteld op DC (gelijkspanning)!



Figuur 6: Een momentopname van de RC laadcurve dat is vastgesteld door een oscilloscoop.

5.5 Verklaring waarom de berekende waarde van de tijdconstante afwijkt van de gemeten waarde

Er zijn verschillende redenen waarom er afwijkingen zijn van de gemeten waarde. Een van die redenen kan zijn dat de metingen niet precies zijn, wat kan zorgen voor onnauwkeurigheid. Dit kan komen door slechte verbindingen/aansluitingen van de probes of van de oscilloscoop.

Het zou eventueel ook nog kunnen liggen aan de tolerantie van de weerstand die is gebruikt, want als het goed is was de tolerantie = $\pm 5\%$, daarom kunnen de berekeningen afwijken van de metingen. Om afwijkingen te voorkomen, is het belangrijk om materialen aan te schaffen die een zo klein mogelijke tolerantie hebben, waardoor ze veel nauwkeuriger zijn. Helaas zal dit wel aan de dure kant zitten voor zo'n experiment, maar dan hadden we wel zo min mogelijke kans op afwijkingen gehad.

5.6 Hoe kunnen we de tijdconstante halveren?

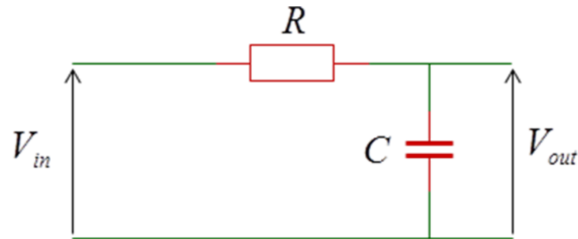
De tijdconstante is op twee manieren te halveren. Je kunt namelijk de capaciteit van de condensator verdubbelen, dan krijg je $\tau = R * 2C$, hierdoor zal de tijdconstante halveren. Zie hieronder een voorbeeld:

Stel we hebben $R = 100k\Omega$ en $100\mu F$. We willen de tijdconstante halveren, dit doen we door de capaciteit te verdubbelen: $200\mu F$, dus dan krijgen we: $\tau = 100000 * (200 \times 10^{-6}) = 5s$, nu hebben we de RC-tijd gehalveerd!

Daarnaast kun je ook nog kiezen om de weerstandswaarde te halveren, hierdoor zal de tijdconstante ook halveren, dan krijg je: $\tau = \frac{1}{2}R * C$.

6 Opdracht 2

In opdracht 2 moesten we eigenlijk hetzelfde principe van opdracht 1 opzetten, alleen dan met AC (wisselspanning), in plaats van met DC (gelijkspanning). Dit is gedaan door een patroongenerator te gebruiken, met dit apparaat waren we in staat om een sinusfunctie te genereren. De amplitude van de sinusfunctie moest op $5V_{tt}$ ($V_{top-top}/V_{peak-peak}$) worden ingesteld. In figuur 7 is de schakeling van opdracht 2 weergegeven:



Figuur 7: RC schakeling van opdracht 2. Hierbij is $R = 1k\Omega$, $C = 100nF$ en $V_{bron} = 5V_{tt}$ (AC).

Bij opdracht 2 horen er ook deelvragen, namelijk:

1. Bereken voor de volgende frequenties wat de overdracht is van deze RC schakeling: 1kHz, 5kHz, 10kHz.
2. Bepaal aan de hand van jouw berekeningen wat voor type filter dit is.
3. Bereken de kantelfrequentie van deze RC schakeling.
4. Teken de bij het filter behorende frequentieresponse. Geef in de frequentieresponse duidelijk aan waar het -3 dB punt zich bevindt
5. Bepaal aan de hand van metingen of de berekende kantelfrequentie en overdrachten kloppen. Neem deze scoopbeelden op in je verslag. Noteer ook elke keer de bijbehorende scoopinstellingen.

6.1 Berekenen van de overdracht voor verschillende frequenties

De overdracht van een RC-schakeling is bepaald door de hoeveelheid ingangsspanning en van wat er overgezet wordt naar de uitgangsspanning. Deze overdracht wordt uitgedrukt in geen eenheid, aangezien het een deling is tussen V_{in} en V_{out} . Zoals al eerder aangegeven hebben we de volgende waarden gebruikt voor de volgende componenten:

1. $R = 1000\Omega$
2. $C = 100 \times 10^{-9}F$
3. $f = 1000/5000/10000\text{Hz}$

We moeten dezelfde meting drie keer uitvoeren, dus ook drie keer dezelfde berekeningen maken met drie verschillende frequenties. De overdracht is te berekenen door de overdrachtsfunctie van de laagdoorlaatfilter toe te passen, namelijk:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi RCf)^2}}$$

Zie hieronder de drie berekeningen uitgewerkt, hierbij gaan de frequenties van boven naar beneden: 1kHz - 5kHz - 10kHz:

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 1000)^2}} = 0,846733016$$

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 5000)^2}} = 0,303314471$$

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 10000)^2}} = 0,15717673$$

In de eerste berekening zien we dat de overdracht gelijk is aan (afgerond) 0,85, dit betekent dat de overdracht van de ingangsspanning naar de uitgangsspanning gelijk is aan 80% bij een frequentie van 1kHz. In de tweede berekening zien we dat de overdracht gelijk is aan (afgerond) 0,30, dit betekent dat de overdracht gelijk is aan 30% bij een frequentie van 5kHz. Tenslotte in de laatste berekening zien we dat de

overdracht gelijk aan (afgerond) 0,16, dit betekent dat de overdracht gelijk is aan 16% bij een frequentie van 10kHz.

Het verloop hiervan is logaritmisch, dit betekent dat de afname van de overdracht in dB/octaaf (factor 2 in frequentie) gelijk is. Vanaf de kantelfrequentie begint de halvering van de amplitudefactor/octaaf.

6.2 Bepaal het type filter

RC-schakelingen kan worden gebruikt als filter, waarbij alleen specifieke frequenties van een signaal worden doorgelaten, terwijl de andere signalen worden gedempt. Er zijn meerdere soorten filters en een daarvan is de laagdoorlaatfilter. Deze filter laat alleen frequenties door die laag zijn, en hogere frequenties worden steeds minder doorgelaten door de filter, vandaar de naming. We weten dat we te maken hebben met een laagdoorlaatfilter, vanwege de kenmerken hierboven beschreven.

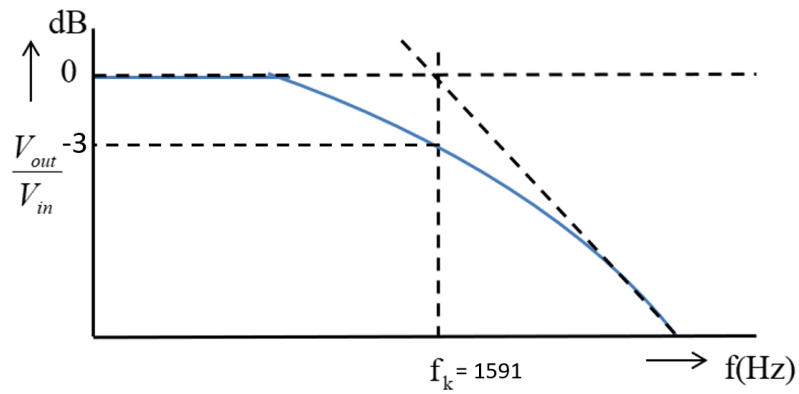
6.3 Berekenen van de kantelfrequentie

Bij de kantelfrequentie is het vermogen gehalveerd, en is dit punt gelijk aan -3dB. Om de kantelfrequentie te kunnen berekenen moeten we de volgende formule toepassen:

$$f_k = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9})} = 1591 \text{ Hz}$$

Dit zou moeten betekenen dat de frequenties onder de 1591 Hz, de overdracht van de RC-schakeling gelijk blijft aan de overdracht bij lage frequenties. Alle frequenties boven deze kantelfrequentie zullen steeds meer afnemen, wat onder andere al eerder hebben gezien bij de berekeningen. Ook de kantelfrequentie zou kunnen afwijken vanwege onnauwkeurigheid qua materialen en metingen.

6.4 Teken de bij het filter behorende frequentieresponse

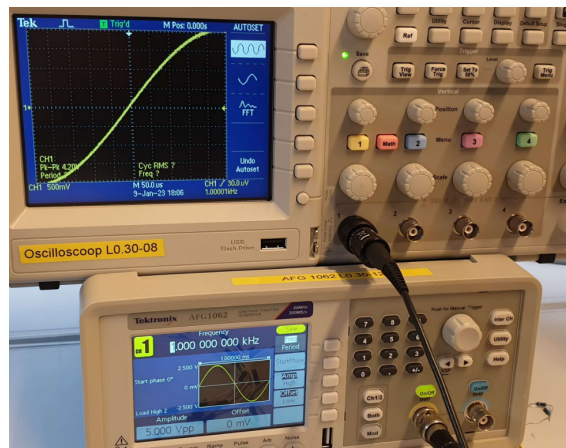


Figuur 8: De frequentieresponse van de laagdoorlaatfilter. De kantelfrequentie is aangegeven met een lijn.

6.5 Bepaal aan de hand van metingen of de berekende kantelfrequentie en overdrachten kloppen

Na het berekenen van de kantelfrequentie en de overdrachten van een RC-schakeling met behulp van formules, is het belangrijk om deze waarden te verifiëren met metingen. Dit kan worden gedaan door gebruik te maken van een oscilloscoop.

Van elke frequentie van 1kHz, 5kHz en 10kHz zijn er foto's gemaakt van de oscilloscoop. Deze foto's zijn hier onder terug te vinden:



Figuur 9: Foto van de oscilloscoop en patroongenerator bij een frequentie van 1kHz met 5V AC.

We hebben al eerder in de opdracht de overdracht berekend. Dit deden we op de volgende manier:

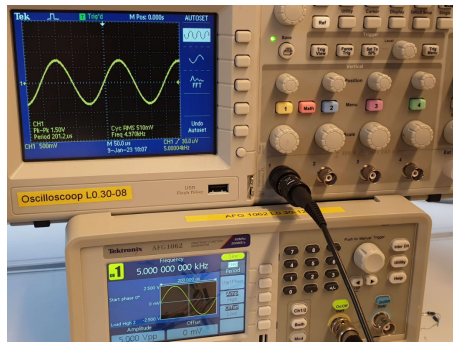
$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi RCf)^2}}$$

Met de oscilloscoop kunnen we verifiëren dat dit klopt, want in de foto kunnen we de V_{pp} (V_{out}) aflezen op de oscilloscoop, en daarmee kunnen we de overdracht berekenen met die meetwaarde:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{4,20}{5} = 0,84$$

Dit komt overeen met wat we berekend hadden, namelijk: 0,846733016, dus het klopt!

Hetzelfde geldt voor de frequenties 5kHz en 10kHz:



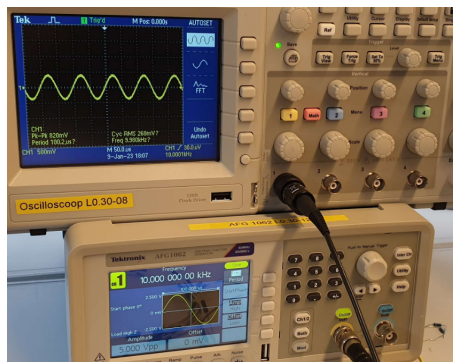
Figuur 10: Foto van de oscilloscoop en patroongenerator bij een frequentie van 5kHz met 5V AC.

In de foto kunnen we zien dat de V_{pp} (V_{out}) gelijk is aan 1,50V (oscilloscoop). Nu kunnen we de overdracht berekenen:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1,50}{5} = 0,30$$

Dit komt overeen met wat we berekend hadden, namelijk: 0,303314471, dus het klopt!

Tenslotte kunnen we ook de overdracht bepalen door de V_{pp} (V_{out}) af te lezen van de foto hieronder (oscilloscoop): Dan krijgen we het volgende:



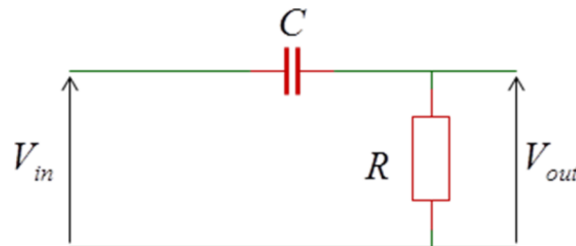
Figuur 11: Foto van de oscilloscoop en patroongenerator bij een frequentie van 10kHz met 5V AC.

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{0,820}{5} = 0,16$$

Dit komt overeen met wat we berekend hadden, namelijk: 0,15717673, dat is afgerond 0,16.

7 Opdracht 3

In opdracht 3 moesten we eigenlijk weer hetzelfde principe van opdracht 2 opzetten, alleen dan moesten de R en de C omgedraaid worden. Ook bij deze opdracht moesten we een patroongenerator gebruiken. De amplitude van de sinusfunctie moest ook opnieuw op $5V_{tt}$ ($V_{top-top}/V_{peak-peak}$) worden ingesteld. In figuur 12 is de schakeling van opdracht 2 weergegeven:



Figuur 12: RC schakeling van opdracht 3. Hierbij is $R = 1k\Omega$, $C = 100nF$ en $V_{bron} = 5V_{tt}$ (AC).

Bij opdracht 3 horen er ook deelvragen, namelijk:

1. Bereken voor de volgende frequenties wat de overdracht is van deze RC schakeling: 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz.
2. Bepaal aan de hand van jouw berekeningen wat voor type filter dit is.
3. Bereken de kantelfrequentie van deze RC schakeling.
4. Teken de bij het filter behorende frequentieresponse. Geef in de frequentieresponse duidelijk aan waar het -3 dB punt zich bevindt
5. Bepaal aan de hand van metingen of de berekende kantelfrequentie en overdrachten kloppen. Neem deze scoopbeelden op in je verslag. Noteer ook elke keer de bijbehorende scoopinstellingen.

7.1 Berekenen van de overdracht voor verschillende frequenties

Zoals al eerder bij opdracht 2 aangegeven, hebben we sommige waardes van componenten opnieuw nodig:

1. $R = 1000\Omega$
2. $C = 100 \times 10^{-9}F$
3. $f = 500/1000/5000\text{Hz}$

In deze opdracht moeten we drie keer de overdracht berekenen, namelijk voor de volgende frequenties: 500Hz, 1kHz en 5kHz. Nu de condensator en weerstand zijn omgedraaid in de RC-schakeling, moeten we een andere formule gebruiken, namelijk:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2\pi RCf}{\sqrt{1 + (2\pi RCf)^2}}$$

Nu we alle gegevens hebben verzameld, inclusief de benodigde formule, kunnen we drie overdrachten berekenen (500Hz - 1kHz - 5kHz):

$$H(f) = \frac{2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 500}{\sqrt{1 + (2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 500)^2}} = 0,299716803$$

$$H(f) = \frac{2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 1000}{\sqrt{1 + (2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 1000)^2}} = 0,532018044$$

$$H(f) = \frac{2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 5000}{\sqrt{1 + (2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9}) * 5000)^2}} = 0,952890514$$

In de eerste berekening zien we dat de overdracht gelijk is aan afgerond 0,30, dit betekent dat de overdracht van de ingangsspanning naar de uitgangsspanning gelijk is aan 30% bij een frequentie van 500Hz. In de tweede berekening zien we dat de overdracht gelijk is aan afgerond 0,53, dit betekent dat de overdracht gelijk is aan 53% bij een frequentie van 1kHz. Tenslotte in de laatste berekening zien we dat de overdracht gelijk aan afgerond 0,95, dit betekent dat de overdracht gelijk is aan 95% bij een frequentie van 5kHz.

Wanneer de frequentie in de formule toeneemt, zal de overdracht afnemen, dit wordt vaak weergegeven in een grafiek met een afnemende lijn naar rechts. Dit is typisch

voor een hoogdoorlaatfilter, waarbij de overdracht voor hoge frequenties groter is dan voor lage frequenties. Dit filter type is gebruikt om specifiek hoge frequenties door te laten en lage frequenties te blokkeren.

7.2 Bepalen van het type filter

In deze opdracht hebben we te maken met een hoogdoorlaatfilter, want in de berekeningen hebben we gezien dat des te hoger de frequentie is, des te hoger de overdracht is. Dit zal zich uiten in een opwaartse lijn in de grafiek van de overdracht, met een knikpunt waar de overdracht -3dB afneemt ten opzichte van de overdracht bij hoge frequenties. De grafiek zal er net als de grafiek van de laagdoorlaatfilter eruit zien, alleen dan horizontaal gespiegeld.

7.3 Berekenen van de kantelfrequentie

Om nu de kantelfrequentie te kunnen berekenen moeten we de volgende formule toepassen:

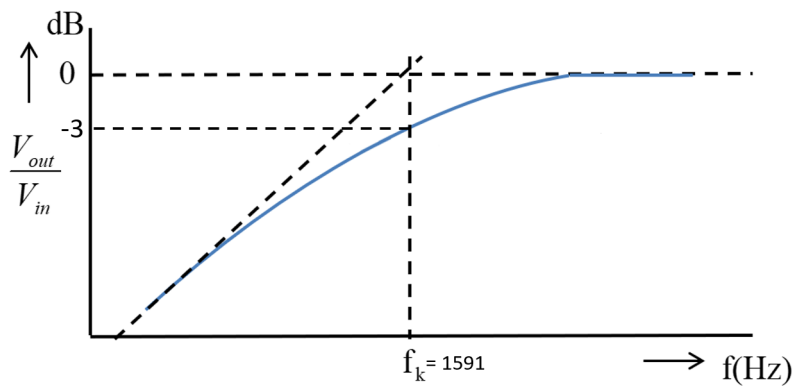
$$f_k = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi * 1000 * (100 \times 10^{-9})} = 1591 \text{ Hz}$$

Deze berekende waarde komt je misschien wel bekend voor, want dit is dezelfde berekende kantelfrequentie als die van in opdracht 2. Alleen nu zou het juist moeten betekenen dat alle frequenties boven de 1591 Hz, de overdracht gelijk blijft aan de overdracht bij lage frequenties.

Alle frequenties onder deze kantelfrequentie zullen steeds meer afnemen, en ook dit kunnen we terug zien in de berekeningen. We moeten er wel weer rekening mee houden dat ook deze kantelfrequentie zou kunnen afwijken vanwege onnauwkeurigheid qua materialen en metingen!

7.4 Teken de bij het filter behorende frequentieresponse

De frequentieresponse is een grafiek die de overdracht van een filter weergeeft als functie van de frequentie, in dit geval een hoogdoorlaatfilter. Het -3 dB punt is bij de kantelfrequentie, dat is de frequentie waarbij de overdracht -3 dB afneemt ten opzichte van de overdracht bij hoge frequenties.

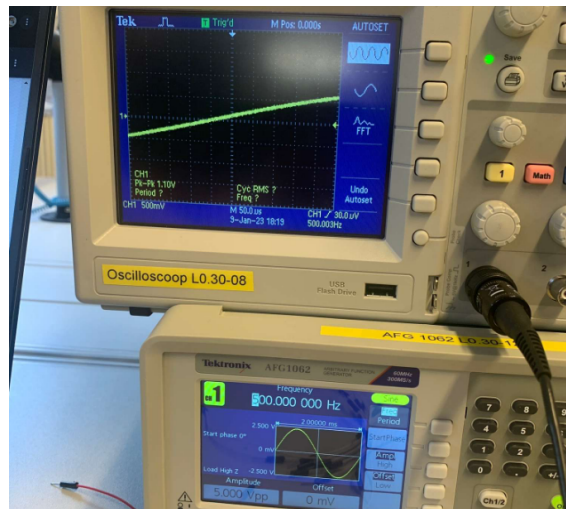


Figuur 13: De frequentieresponse van de hoogdoorlaatfilter. De kantelfrequentie is aangegeven met een lijn.

7.5 Bepaal aan de hand van metingen of de berekende kantelfrequentie en overdrachten kloppen

Na het berekenen van de kantelfrequentie en de overdrachten van een RC-schakeling met behulp van formules, is het belangrijk om deze waarden te verifiëren met metingen. Dit kan worden gedaan door gebruik te maken van een oscilloscoop, net zoals bij opdracht 2.

Van elke frequentie van 500Hz, 1kHz en 5kHz zijn er foto's gemaakt van de oscilloscoop. Deze foto's zijn hier onder terug te vinden:



Figuur 14: Foto van de oscilloscoop en patroongenerator bij een frequentie van 500Hz met spanning van 5V AC.

We hebben al eerder in de opdracht de overdracht berekend. Dit deden we op de volgende manier:

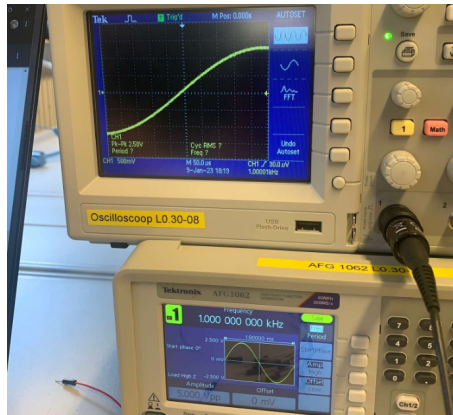
$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2\pi RC f}{\sqrt{1 + (2\pi RC f)^2}}$$

Met de oscilloscoop kunnen we verifiëren dat dit klopt, want in de foto kunnen we de V_{pp} (V_{out}) aflezen van de oscilloscoop, en daarmee kunnen we de overdracht berekenen met die meetwaarde:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1,10}{5} = 0,22$$

Dit komt ongeveer overeen met wat we berekend hadden, namelijk: $H(f) = 0,299716803$. Helaas hebben we wel te maken met grotere meetafwijkingen vergeleken met de resultaten van opdracht 2!

Hetzelfde geldt voor de frequentie 1kHz:



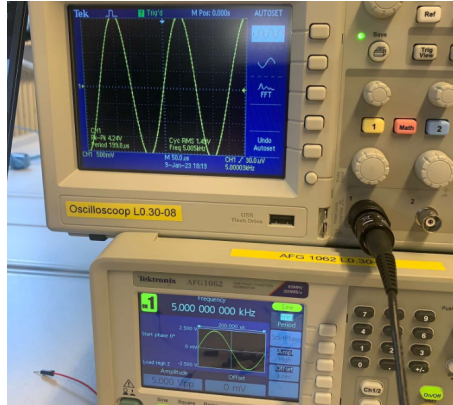
Figuur 15: Foto van de oscilloscoop en patroongenerator bij een frequentie van 1kHz met spanning van 5V AC.

In de foto kunnen we zien dat de V_{pp} (V_{out}) gelijk is aan 1,50V. Nu kunnen we de overdracht berekenen:

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2,58}{5} = 0,516$$

Ook dit komt in de buurt van met wat we berekend hadden, namelijk: $H(f) = 0,532018044$. We hebben ook hier een kleine meetafwijking, maar dat is niet erg, aangezien de waardes wel dicht bij elkaar in de buurt komen!

Tenslotte kunnen we ook de overdracht voor de 5kHz frequentie bepalen door V_{pp} (V_{out}) af te lezen van de foto hieronder (oscilloscoop): Dan krijgen we het volgende:



Figuur 16: Foto van de oscilloscoop en patroongenerator bij een frequentie van 5kHz met spanning van 5V AC.

$$H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{4,24}{5} = 0,848$$

Tenslotte komt $H(f) = 0,848$ in de buurt van de berekende waarde: $H(f) = 0,952890514$, maar ook hier is er een meetafwijking, en ook dat komt wel eens voor in de praktijk, aangezien de berekeningen theoretisch waren. Kortom zijn de theoretische berekeningen allemaal kloppend, omdat de theoretische -en gemeten waarden allebei dicht bij elkaar liggen, alleen zijn helaas er wel wat meetafwijkingen hier en daar, maar dat hoort erbij!

8 Conclusie

In dit verslag is er onderzoek gedaan naar twee onderzoeksvragen:

1. “Hoe berekenen we de tijdconstante van een RC schakeling?”
2. “Hoe berekenen we de kantelfrequentie en de overdracht van een RC filter?”

In de inleiding zijn er doelstellingen geformuleerd die gericht zijn op het berekenen van de tijdconstante, het bepalen van het type filter, het berekenen van de kantelfrequentie en overdracht van een RC filter en het verkrijgen van de bijbehorende meetgegevens op een juiste wijze.

Bij de eerste opdracht moesten we een RC-schakeling opbouwen waarbij de weerstand en de condensator in serie waren. Om de RC-tijd te kunnen bepalen hebben we gebruik gemaakt van een oscilloscoop. De RC-tijd hebben we berekend met de volgende formule: $\tau = R * C$. De RC-tijd wordt bereikt op 63,21% van de lading van de condensator. Ook hebben we onderzocht hoe we de RC-tijd kunnen halveren. Daarnaast moesten we ook verklaren waarom er meetafwijkingen waren.

In opdracht 2 moesten we weer een RC-schakeling opzetten, alleen dan met een V_{bron} van 5V AC in plaats van 12V DC. Om deze “Alternating Current” (wisselspanning) te krijgen, moesten we een patroongenerator gebruiken. De patroongenerator genereert een sinusfunctie die we nodig hebben in zowel opdracht 2 als opdracht 3. Verder moesten we de overdracht ($\frac{V_{out}}{V_{in}}$) berekenen voor 1kHz, 5kHz en 10kHz frequenties. Dit deden we door de volgende formule te gebruiken: $H(f) = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi RCf)^2}}$. Daarnaast moesten we zowel in opdracht 1 als in opdracht 2 de frequentieresponse tekenen, en daarvoor moesten we eerst de kantelfrequentie berekenen. De kantelfrequentie hebben we berekend met: $f_k = \frac{1}{2\pi RC}$. Op de punt van de kantelfrequentie bevindt zich het -3dB punt, wat belangrijk is voor het plotten van de grafiek. Tenslotte moesten we nog nagaan of de theoretische berekende overdrachten wel klopten. Dit hebben we gedaan door alle drie de V_{out} (van de verschillende frequenties) af te lezen van de oscilloscoop, want door de V_{out} te delen door de V_{in} kun je ook de overdracht bepalen.

Tenslotte in opdracht 3 moesten we de schakeling van opdracht 2 kopiëren, alleen moesten nu de condensator en weerstand van hun plek omgewisseld worden. We gingen dezelfde vragen beantwoorden als die van in opdracht 2. Toen zagen we al snel dat het verwisselen van componenten ervoor zorgde dat alles omgekeerd ging werken. In opdracht 2 hebben we gezien dat we te maken hadden met een laagdoorlaatfilter, want hoe lager de frequenties waren, des te groter de overdracht werd. In opdracht 3 was dit effect net andersom. We constateerde dit al snel bij de berekeningen, want daar zagen we ook dat des te hoger de frequenties waren,

des te groter de overdracht werd en bij lage frequenties was de overdracht juist heel klein. Deze type filter wordt dan ook wel de hoogdoorlaatfilter genoemd, omdat deze filter alleen hoge frequenties doorlaat. De overdracht van een hoogdoorlaatfilter kan op de volgende manier berekend worden: $H(f) = \frac{2\pi RCf}{\sqrt{1+(2\pi RCf)^2}}$. Ook moest de kantelfrequentie opnieuw berekend worden. Dit werd op dezelfde manier gedaan als in opdracht 2: $f_k = \frac{1}{2\pi RC}$, dus met de kantelfrequentie kunnen we bepalen waar het -3dB punt zit van de filter en daarmee kunnen we ook een frequentieresponse maken.

De in de inleiding geformuleerde doelstellingen zijn met behulp van de 3 opdrachten succesvol behaald. We hebben met behulp van deze opdrachten eigenschappen van individuele componenten en reactie op verwisselen posities kunnen waarnemen en verklaren.

9 Bronvermelding

Referenties

- [1] F. Corporation, “Wat is een oscilloscoop?” 2022, bezocht op 9 januari 2023. [Online]. Available: <https://www.fluke.com/nl-nl/informatie/blog/elektrisch/wat-is-een-oscilloscoop>
- [2] —, “Meetprobes,” 2022, bezocht op 9 januari 2023. [Online]. Available: <https://www.fluke.com/nl-nl/producten/accessoires/meetsnoeren>
- [3] R. A. Witte, *Electronic Test Instruments: Analog and Digital Measurements, 2nd Edition*. Prentice Hall, 2002.
- [4] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*. Prentice Hall, 1997.
- [5] B. Paradigm, “Patgen,” 2021. [Online]. Available: <http://www.byteparadigm.com/files/documents/PatGenWP.pdf>
- [6] I. Buckley, “What is a breadboard?” 2022. [Online]. Available: <https://www.makeuseof.com/tag/what-is-breadboard/>
- [7] M. L. Schagrin, “Resistance to ohm’s law,” *American Journal of Physics*, vol. 31, pp. 536–547, 1963.
- [8] J. Bird, *Electrical and Electronic Principles and Technology*. Newnes, 2010. [Online]. Available: https://books.google.nl/books?id=A1tAHm_5sl0C
- [9] E. Sciences, “Tijdconstante,” 2021. [Online]. Available: <https://www.edumedia-sciences.com/nl/media/503-tijdconstante>
- [10] E. Tutorials, “Low pass filters,” 2022. [Online]. Available: https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_2.html
- [11] —, “High pass filters,” 2022. [Online]. Available: https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_3.html
- [12] sciencedirect, “frequencyresponse,” 2022. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/frequency-response-curve>
- [13] R. Boylestad and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*. Prentice Hall, 1999. [Online]. Available: <https://books.google.nl/books?id=TRBTAAAAMAAJ>