

Naam: Klas: Studentnummer:

Inleiding

De diode is het eerste voorbeeld van een halfgeleidercomponent. Een halfgeleider is een materiaal waarvan de geleiding afhankelijk is van welke spanning er op gezet wordt. Het is dus geen ijzer (geleider) of rubber (isolator) maar een materiaal dat beide kan zijn (geleider of isolator). Eén van de meest gebruikte materialen om halfgeleiders te maken is silicium, dat uit zand wordt gewonnen. Zand bestaat voor het grootste gedeelte uit siliciumdioxide SiO_2 . De diode heeft als belangrijkste functie om stroom maar één kant op te laten lopen. Als de stroom de andere kant op wil, wordt deze geblokkeerd.

Om in eerste instantie een diode te laten geleiden moet er wel een bepaalde spanning over deze diode staan, de zogenaamde *drempelspanning*. Elke diode heeft zijn eigen waarde voor deze spanning die je natuurlijk kunt vinden in de datasheet.

Een speciaal type diode is de LED (Light Emitting Diode), dus een diode die licht kan uitzenden. Deze heb je al diverse keren in de labs van ELE10 gebruikt.

Leerdoelen

- De eigenschappen en werking van een diode kunnen uitleggen en toepassen.
- Een datasheet kunnen gebruiken om parameters van een component te vinden.
- Het verschil tussen *AC-Coupling* en *DC-Coupling* op de oscilloscoop begrijpen en kunnen uitleggen.
- Kennismaken met een AC-labvoeding en hier veilig mee kunnen werken.
- Weten dat de spanningsreferenties van de oscilloscoop en de functiegenerator (de zwarte klemmen van de meetsnoeren) allemaal met elkaar verbonden zijn via de randaarde van het stopcontact, en kunnen uitleggen in welke situaties dit problemen oplevert bij het meten aan schakelingen.
- Een gelijkrichterschakeling kunnen opbouwen en hiervan de scoopbeelden kunnen verklaren.
- Verschillende karakteriseringen van wisselspanningssignalen (gemiddelde, piek-, piek-piek- en RMS-waarden) leren kennen en kunnen meten met een oscilloscoop.

Vorbereiding op de les

- Lees Hambley §9.1 “Basic Diode Concepts” door.
- Bekijk de datasheet van de diode 1N4007. (Gebruik een ideale diode in LTspice)
- Bekijk de video *Making a Full Bridge Rectifier* op <https://www.youtube.com/watch?v=sI5Ftm1-jik>.
- Maak een simulatie van [schakeling 2](#) en [schakeling 3](#).

Hergebruik van componenten in de labs

Het is de bedoeling dat je componenten uit de standaardvoorraad en draadjes na gebruik **zelf bewaart** in een bakje of koffertje met verschillende vakjes zodat je deze **meerdere malen kunt gebruiken**.

Kijk voordat je nieuwe componenten pakt of draadjes knipt **eerst** of er nog iets in de **hergebruikbakken** zit.

Componenten die niet in de standaardvoorraad zitten en tijdens het practicum worden uitgedeeld moeten na gebruik weer worden ingeleverd.

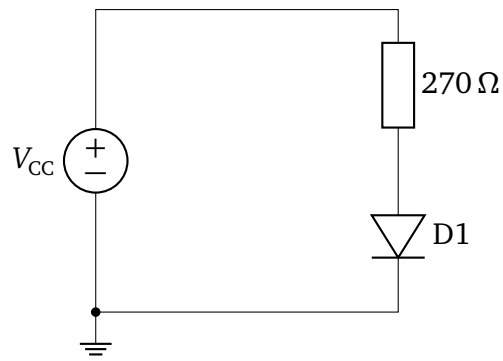
1 Eigenschappen van diodes bepalen

Een LED geeft natuurlijk licht, maar gedraagt zich anders dan een weerstand. Op dezelfde wijze als je in de labopdracht van ELE10 een weerstand hebt geanalyseerd kun je ook een aantal elektrische eigenschappen van een LED of normale diode bepalen.

Niet alleen een LED, maar elke diode heeft een drempelspanning waarboven deze goed stroom door gaat laten. Staat de spanning over een diode zodanig dat de diode stroom doorlaat, dan noemen we de diode *forward biased*. Staat de spanning tegengesteld, dan wordt gezegd dat de diode *reverse biased* is.

Opdracht 1: Eigenschappen van een diode meten

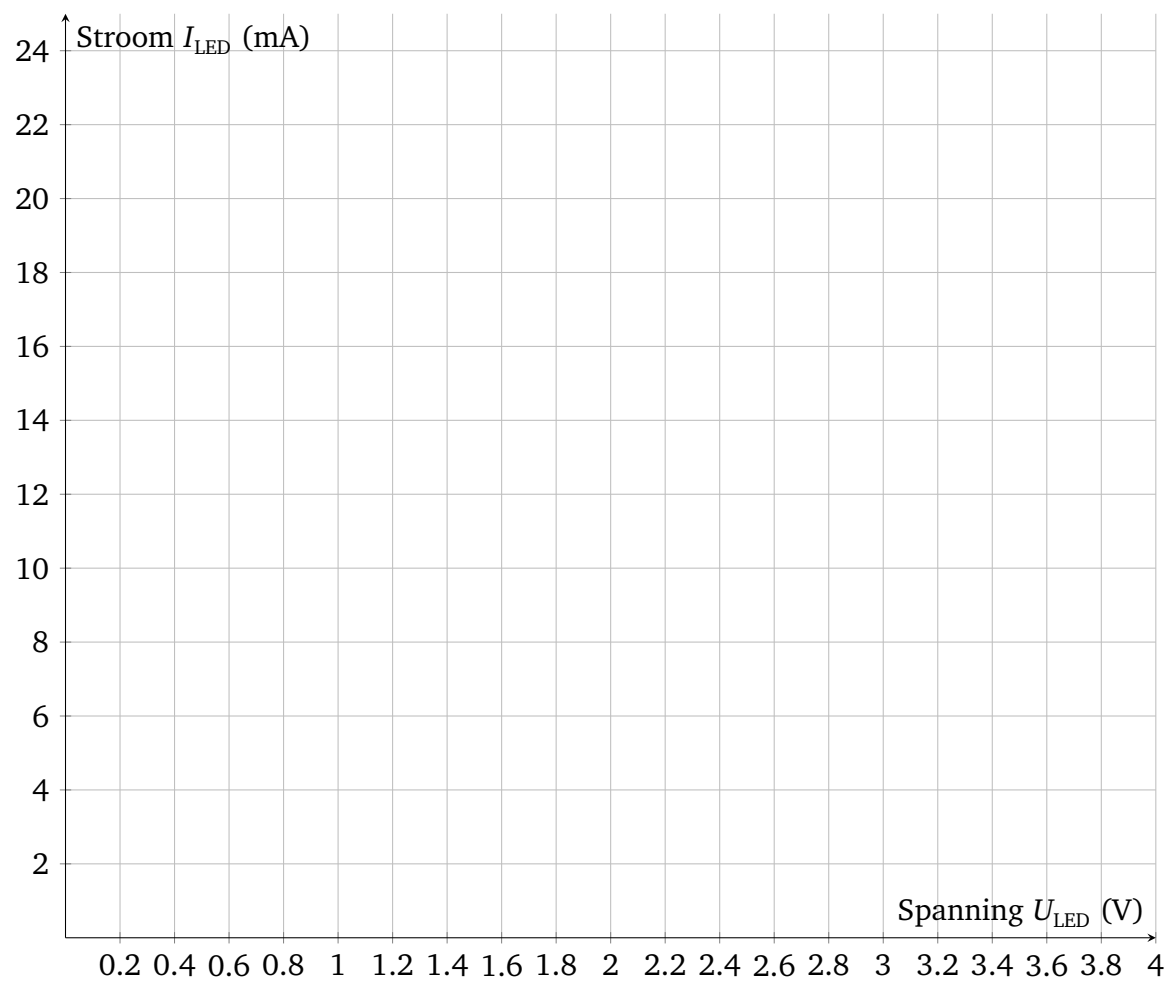
1. Bekijk **schakeling 1**. Hoe kun je met behulp van de labvoeding negatieve spanningen instellen voor V_{CC} ?
2. Kies voor $D1$ een rode LED. Bouw de schakeling op en meet de spanning over de weerstand, de spanning over de diode en stroom door de diode voor verschillende bronspanningen en vul hiermee de kolommen LED in **tabel 1** in. *Bedenk hoe je deze metingen zo gemakkelijk mogelijk kunt uitvoeren, bijvoorbeeld met drie multimeters en 4mm aansluitsnoeren.*
3. Schets je resultaten van I_D tegen V_D in **figuur 1**.
4. Wat is er anders bij een diode dan bij een weerstand?
5. Wat gebeurt er als we de diode zonder weerstand direct op de voedingsbron zouden aansluiten?
6. Een vaak gebruikte eenvoudige beschrijving voor een LED is dat hij boven een bepaalde drempelspanning onbeperkt stroom doorlaat. Welke waarde zou je op basis van **figuur 1** schatten voor de drempelspanning van de geteste LED?
7. Kies nu voor $D1$ een 1N4007 en herhaal deze metingen. Vul hiermee de kolommen 1N4007 Forward in **tabel 1** in. Teken de grafiek in **figuur 1** met een andere kleur. Welke drempelspanning heeft de 1N4007?
8. Draai de diode om en herhaal deze metingen. Vul hiermee de kolommen 1N4007 Reverse in **tabel 1** in. Teken de grafiek in **figuur 1** met weer een andere kleur.



Schakeling 1: Schakeling met een weerstand en een diode.

Tabel 1: Meten aan verschillende diodeschakelingen.

V_{CC}	V_R	V_D	$I_D(\text{mA})$	V_R	V_D	$I_D(\text{mA})$	V_R	V_D	$I_D(\text{mA})$
	LED			1N4007 Forward			1N4007 Reverse		
-5.0									
-4.5									
-4.0									
-3.5									
-3.0									
-2.5									
-2.0									
-1.5									
-1.0									
-0.5									
0.0									
0.5									
1.0									
1.5									
2.0									
2.5									
3.0									
3.5									
4.0									
4.5									
5.0									



Figuur 1: Verband tussen stroom en spanning voor verschillende diodes.

Conclusie 1

2 Meten met de oscilloscoop: AC- en DC-coupling

Met de oscilloscoop kunnen zowel DC- als AC-spanningen worden gemeten. Zoals je bij ELE10 hebt geleerd kunnen we met de functiegenerator ook AC-signalen maken met een *DC-offset*. Dit soort signalen komen we in de praktijk ook vaak tegen.

We hebben bij ELE10 geleerd dat we het signaal dat we willen meten het liefste zo groot mogelijk in beeld willen hebben, omdat de oscilloscoop het signaal dan beter kan meten. Als we een AC-signaal hebben met een kleine amplitude en een grote DC-offset kan de oscilloscoop de eigenschappen van het AC-signaal niet goed meten.

Om dit probleem op te lossen kan de oscilloscoop de DC-spanning uit het signaal filteren (weghalen, het is daarna dus niet meer zichtbaar) en het overgebleven AC-signaal beter meten. Per kanaal kunnen we kiezen voor *DC-Coupling* (de DC-spanning wordt er niet uitgefilterd) of *AC-Coupling* (De DC-spanning wordt er wel uitgefilterd).

Opdracht 2: Verschil tussen AC- en DC-Coupling

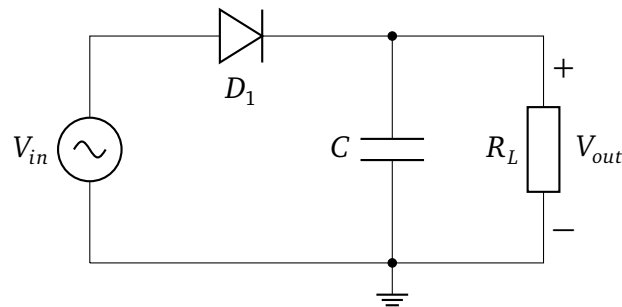
1. Stel de functiegenerator in op sinus met een frequentie van 1 kHz en 10 mV_{pp} met een offset van 5 V.
2. Sluit de functiegenerator via een splitter direct aan op kanaal 1 en kanaal 2 van de oscilloscoop. Stel de tijdbasis (*horizontal scale*) in op $500\text{ }\mu\text{s}/\text{div}$.
3. Stel kanaal 1 van de oscilloscoop in op *DC-Coupling* en stel het nulpunt (*vertical position*) in zodat het precies in het midden van het scherm staan. Gebruik voor de amplitudebasis *vertical scale* $2\text{ V}/\text{div}$.
4. Stel kanaal 2 van de oscilloscoop in op *AC-Coupling* en stel het nulpunt (*vertical position*) in zodat het precies in het midden van het scherm staan. Gebruik voor de verticale instelling *vertical scale* $2\text{ mV}/\text{div}$.
5. Meet voor beide kanalen de V_{pp} waarden met de *measure* functie van de oscilloscoop. In welke stand (AC- of DC-Coupling) kan de oscilloscoop deze waarden het beste meten?

6. Leg in je eigen woorden het verschil tussen AC en DC-Coupling uit.

3 Gelijkrichterschakelingen

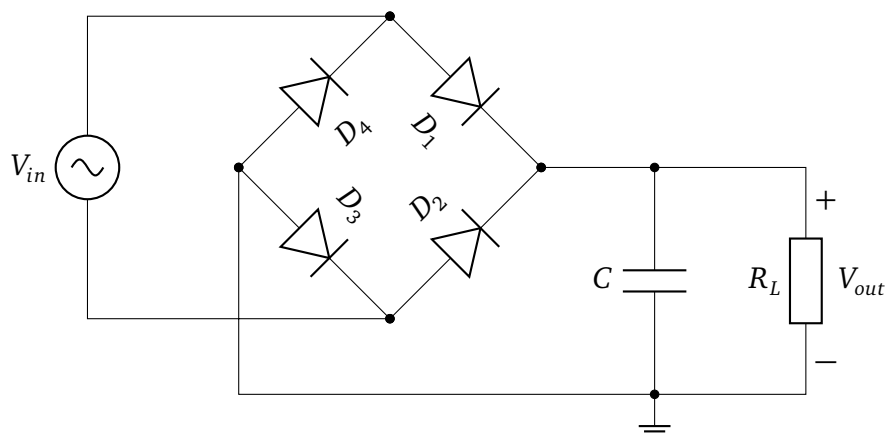
Gelijkrichterschakelingen zijn schakelingen om uit een AC-spanning een DC-spanning te maken. Gelijkrichters maken gebruik van de eigenschap van dioden dat ze grof gezegd maar in één richting stroom doorlaten. Er zijn twee belangrijke type gelijkrichterschakelingen:

- **Halve gelijkrichterbrug:** Zoals te zien is in **schakeling 2** bevat een halve-brug-schakeling een enkele diode.



Schakeling 2: Halve gelijkrichterbrug met één enkele diode.

- **Volledige gelijkrichterbrug:** Zoals te zien is in **schakeling 3** bevat een volledige-brug-schakeling vier dioden.

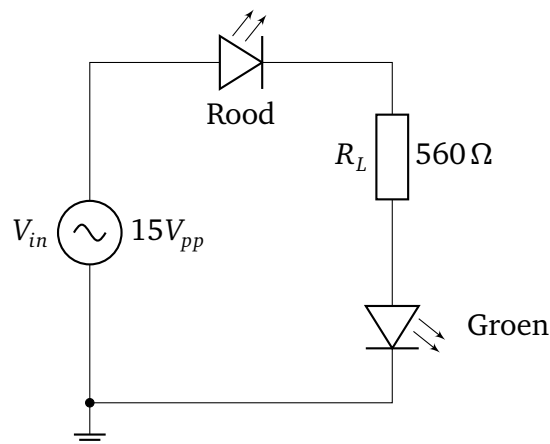


Schakeling 3: Volledige gelijkrichterbrug met vier diodes.

De halve gelijkrichterbrug in **schakeling 2** is een eerste stap richting van het omzetten van een AC-spanning naar een DC-spanning. Een betere en efficiëntere schakeling om dit doel te bereiken maakt gebruik van een volledige gelijkrichterbrug zoals weergegeven in **schakeling 3**. De volledige gelijkrichterbrug is een belangrijke basisschakeling, die in vrijwel ieder apparaat dat gevoed wordt vanaf het stopcontact is terug te vinden.

In de komende opdrachten ga je deze twee gelijkrichters met elkaar vergelijken. Bij de eerste opdrachten gebruik je daarbij LEDs om zichtbaar te maken welke dioden op welk moment stroom door laten. Bij de volgende opdrachten ga je met de oscilloscoop verschillende eigenschappen van deze gelijkrichterschakelingen meten.

4 Halve gelijkrichterbrug met LEDs



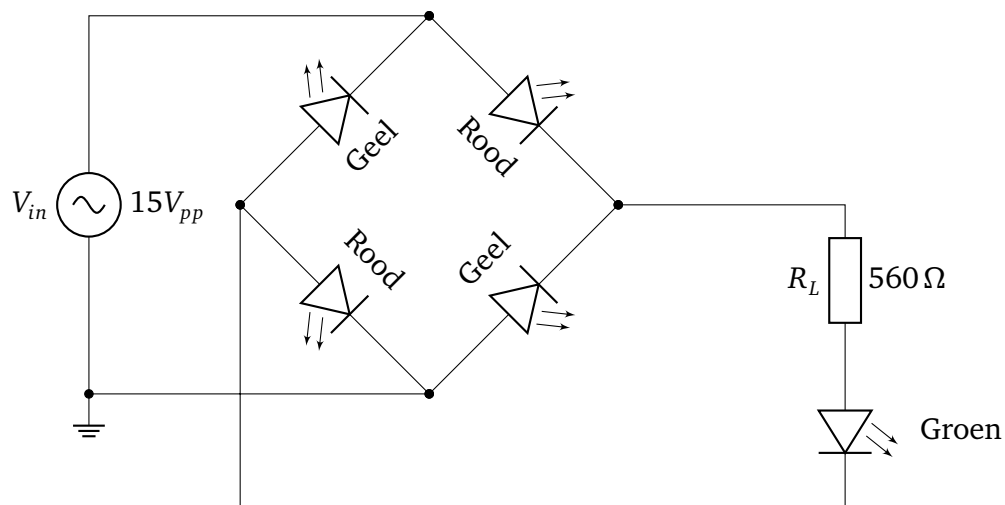
Schakeling 4: Halve gelijkrichterbrug met LEDs voor visualisatie.

Opdracht 3: Halve gelijkrichterbrug met LEDs

1. Bouw **schakeling 4** op.
2. Stel de functiegenerator in op een sinus met $15V_{pp}$ en frequentie van 1 Hz.
3. Branden de LEDs continu of niet? Zo niet, branden ze even lang wel als niet? Branden de LEDs tegelijkertijd of niet?
4. Leg uit hoe je deze effecten kunt verklaren met de eigenschappen die je van dioden hebt leren kennen.

Conclusie 3

5 Volledige gelijkrichterbrug met LEDs



Schakeling 5: Volledige gelijkrichterbrug met LEDs.

Opdracht 4: Volledige gelijkrichterbrug met LEDs

1. Bouw **schakeling 5** op.
2. Stel de functiegenerator weer in op een sinus met $15V_{pp}$ en een frequentie van 1 Hz.
3. Hoe brandt de LED op de uitgang nu? Wat zijn de verschillen en overeenkomsten met de halve-brug-gelijkrichter in **schakeling 2**?
4. Leg uit hoe je deze effecten kunt verklaren met de eigenschappen die je van dioden hebt leren kennen.

Conclusie 4

6 Nadelen aan het gebruik van LEDs en de functiegenerator

Met behulp van de lage frequentie (1 Hz) die we hadden ingesteld op de functiegenerator en de LEDs in de halve en volledige gelijkrichterbrug kon je goed zien welke LEDs wanneer stroom doorlaten.

Er zijn een aantal praktische problemen bij de eerder gebruikte schakelingen:

- Ons lichtnet gebruikt een frequentie van 50 Hz. Als we deze frequentie op onze gelijkrichter zouden aansluiten kunnen we met ons menselijk oog de LEDs ook niet meer aan en uit zien gaan.
- LEDs zijn vanwege hun maximale stroom (ongeveer 20 mA) en hoge drempelspanning (ongeveer 1,8 V tot 3,5 V) eigenlijk helemaal niet geschikt om een gelijkrichterschakeling mee te bouwen. We kunnen daarom beter een standaarddiode zoals bijvoorbeeld de 1N4007 gebruiken.
- De functiegenerator is bedoeld om spanningen mee te creëren en kan maar een zeer beperkte stroom leveren. Een functiegenerator is dus eigenlijk helemaal niet geschikt om een gelijkrichterschakeling te voeden. We gaan in de volgende opdrachten daarom gebruik maken van een wisselspanningsvoeding (AC-voeding) PeakTech 5995, zoals weergegeven in [figuur 2](#).

7 AC- en spanningsdefinities bij sinusvormige signalen

De definitie van een AC-spanning is een spanning die afwisselend positief en negatief wordt ten opzichte van een referentiepunt (meestal de nul of gnd). Een sinusvormig AC-sigitaal zonder offset wordt weergegeven met de formule:

$$A \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

waarbij A de amplitude van het signaal is en ω de frequentie bepaalt.

Als we werken met sinusvormige AC-signalen zonder offset dan kunnen we een aantal verschillende definities voor de gemeten spanning bepalen:

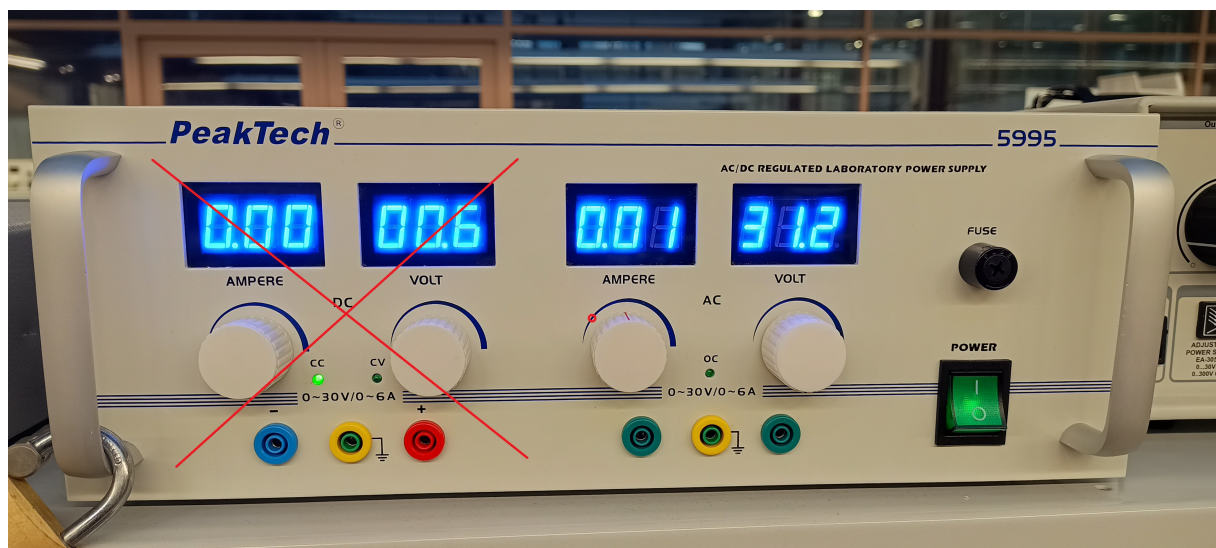
- De piekspanning V_p is de spanning gemeten vanaf het nulpunt tot de hoogste piek in het signaal. De piekspanning van een sinusvormig signaal zonder offset is dus gelijk aan de amplitude van het signaal.
- De piek-piekspanning V_{pp} is de spanning gemeten vanaf de laagste piek tot de hoogste piek in het signaal. De piek-piekspanning van een sinusvormig signaal zonder offset is dus gelijk aan 2 keer de amplitude van de spanning. Dus $V_{pp} = 2 \cdot V_p$.
- De gemiddelde spanning V_{AVG} is het gemiddelde van de spanning over een gehele periodetijd. De gemiddelde spanning van een sinusvormig signaal zonder offset is dus gelijk aan nul.
- De RMS spanning V_{RMS} is de gemiddelde spanning van een wisselend signaal zoals deze zich zou gedragen als een constante gelijkspanning. Voor een sinusvormig signaal zonder offset geldt: $V_{RMS} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$.

8 De wisselspanningsvoeding PeakTech 5995

Met behulp van de PeakTech 5995 voeding kunnen we de netspanning van $230V_{RMS}$ en 50 Hz uit het stopcontact omzetten naar andere spanningen. De frequentie blijft 50 Hz.

Helaas heeft deze voeding een aantal nadelen ten opzichte van de gelijkspanningsvoedingen die we in ons lab hebben staan en moeten we dus heel goed opletten hoe we alles moeten instellen en aansluiten:

- De PeakTech 5995 is een gecombineerde AC en DC voeding. De DC kant gebruiken we niet, de Tenma 72-10495 DC voeding is namelijk een stuk gemakkelijker bedienbaar en heeft een betere beveiliging. **Kijk dus goed welke aansluitingen je moet hebben!**
- In tegenstelling tot de Tenma 72-10495 kunnen we de spanning en stroombegrenzing niet van te voren instellen en daarna pas de uitgang inschakelen. **We zullen dus voorzichtig moeten zijn, want zodra je het apparaat aanzet zal er spanning op de uitgang staan.**
- De AC-voeding heeft een heel eenvoudige ingebouwde stroombegrenzing. Deze werkt met behulp van een relais. Een relais is een soort elektrisch bedienbare schakelaar. Wanneer de stroom te hoog wordt, zal het relais afschakelen. Hierdoor wordt de stroom echter (tijdelijk) nul, waardoor het relais weer zal inschakelen. Bij een kortsluiting (of een te lage stroombegrenzing) zul je dus horen dat het relais ongeveer elke seconde in- of afschakelt. Je ziet ook dat het lampje OC (*overcurrent*) gaat knipperen met dezelfde frequentie als het schakelen van het relais. **Als dit gebeurt moet je de voeding uitzetten en je schakeling door een docent laten controleren!**
- De waarde voor de stroombegrenzing kan met behulp van de draaiknop onder het AMPERE display worden ingesteld tussen 0 en 6 A. We kunnen helaas de ingestelde waarde niet aflezen op het display, we moeten dus een beetje gokken waar we onze stroombegrenzing instellen.



Figuur 2: De wisselspanningsvoeding PeakTech 5995

9 Instellen van de AC-voeding

Opdracht 5: Instellen AC-voeding. Gemiddelde-, piek-, piek-piek- en RMS-spanningen

1. Zorg dat de AC-voeding uit staat (en laat deze voorlopig uit).
2. We willen de AC-voeding straks instellen op $10V_{pp}$. Bereken wat dan de V_p , V_{AVG} en V_{RMS} worden en vul deze waarden in in **tabel 2**.
3. Draai de knop om de spanning in te stellen (onder het display VOLT) helemaal naar links op 0V.
4. Sluit de AC-voeding direct aan op kanaal 1 van de oscilloscoop. Gebruik hiervoor de twee groene aansluitingen op de AC voeding. *De geel-groede aarde aansluiting hebben we in dit practicum niet nodig.*
5. Stel in het *measure* menu van de oscilloscoop in dat je V_{pp} , V_p , V_{AVG} en V_{RMS} wilt meten.
6. Stel de stroombegrenzing in op iets minder dan 1 A. Dit is een beetje gokken, maar komt ongeveer overeen met de rode stip in **figuur 2**.
7. Zet de AC-voeding aan.
8. Draai de instellingsknop voor de spanning van de AC-voeding langzaam omhoog totdat de oscilloscoop $10V_{pp}$ aangeeft. *Let op: het duurt even voordat de voeding reageert en de verandering zichtbaar wordt op de oscilloscoop!*
9. Welke waarde geeft de AC-voeding zelf aan op het display? Is dit V_{pp} , V_p , V_{AVG} of V_{RMS} ? *Let op: de weergave op de voeding is minder betrouwbaar dan je metingen met de oscilloscoop!*
10. Vul nu je gemeten waarden in **tabel 2** in.
11. Verander voor de komende opdrachten niets meer aan de instelling van de AC-voeding. Je kunt de voeding steeds aan- en uitzetten met de groene hoofdschakelaar (POWER).

Tabel 2: Piek-piek-, piek-, gemiddelde- en RMS-spanningen van de wisselspanningsvoeding.

Bepaling	V_{pp} (V)	V_p (V)	V_{avg} (V)	V_{rms} (V)
Berekend	$10V_{pp}$			
Gemeten	$10V_{pp}$			

10 Meten aan een halve gelijkrichterbrug

Opdracht 6: Meten aan een halve gelijkrichterbrug

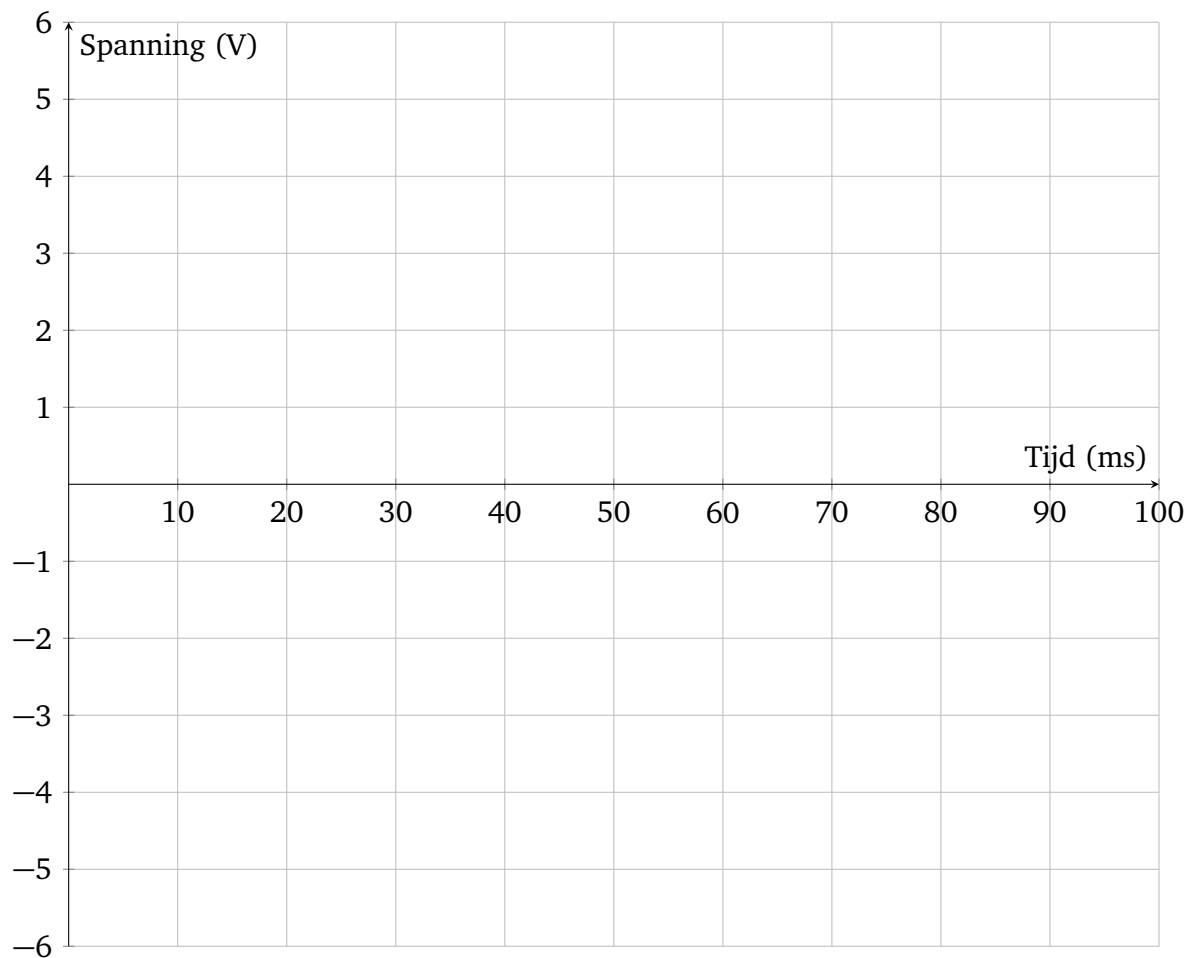
1. Als het goed is, is de AC-voeding nog steeds ingesteld op $10V_{pp}$. Zorg dat de AC-voeding uit staat!
2. Bouw **schakeling 2** op maar laat de condensator nog even weg. Kies voor de diodes de 1N4007 en kies voor R_L 1 k Ω .
3. Pak de simulatie van **schakeling 2** die hebt voorbereid voor het begin van de les erbij. Kies dezelfde componenten en ingangsspanning en plot de ingangsspanning V_{in} en de uitgangsspanning V_{out} .
4. Sluit de AC-voeding aan op V_{in} en sluit deze ook aan op kanaal 1 van de oscilloscoop.
5. Sluit de uitgang V_{out} aan op kanaal 2 van de oscilloscoop.
6. **Let op de coupling instelling van de oscilloscoop, welke moet je gebruiken?**
7. **Laat je schakeling controleren voordat je de AC-voeding aanzet!**
8. Bekijk de signalen op de oscilloscoop. Teken V_{in} en V_{out} in **figuur 3**. Vergelijk je metingen met je simulatie. Komen deze overeen?
9. Leg uit waarom de uitgangsspanning (meer dan) de helft van de periodetijd 0V is.
10. Bepaal hoeveel kleiner de piekspanning van het uitgangssignaal van de halve gelijkrichterbrug is dan de piekspanning van het ingaande signaal. Kun je verklaren hoe dit komt?
11. Meet met behulp van de oscilloscoop de V_{pp} , V_p , V_{AVG} en V_{RMS} van het uitgangssignaal van de halve gelijkrichterbrug en vul deze resultaten in **tabel 3** in.
12. Leg uit waarom de gemiddelde uitgangsspanning niet nul is terwijl het gemiddelde van de ingangsspanning dat wel is.
13. Kies nu 100 μ F voor C in **schakeling 2** en voeg deze toe in je opgebouwde schakeling. Wat is het resultaat?

14. De golfbeweging die je ziet op de uitgangsspanning wordt ook wel de rimpelspanning genoemd. Meet met de oscilloscoop de V_{PP} van deze rimpelspanning. Kun je hiervoor het beste AC- of DC-Coupling gebruiken?
15. Varieer nu op basis van **tabel 4** de waarde van C en R_L en meet steeds de piek-piek waarde van de rimpelspanning. Vul de kolom *Rimpel halve brug* in.
16. Leg uit hoe de rimpelspanning afhankelijk is van de waarde van C en R_L .

Conclusie 6

Tabel 3: Piek-piek-, piek-, gemiddelde en RMS-spanningen van een halve en een volledige gelijkrichterbrug zonder condensator.

Schakeling	V_{PP} (V)	V_P (V)	V_{AVG} (V)	V_{RMS} (V)	
Halve gelijkrichterbrug			XXXXXXXX	XXXXXXXX	Berekend
			XXXXXXXX	XXXXXXXX	Gesimuleerd
					Gemeten
Volledige gelijkrichterbrug			XXXXXXXX	XXXXXXXX	Berekend
			XXXXXXXX	XXXXXXXX	Gesimuleerd
					Gemeten



Figuur 3: Ingangsspanning en uitgangsspanning van een halve gelijkrichterbrug.

Tabel 4: Rimpelspanning van de gelijkrichterbruggen met condensator.

C	R_L	Rimpel halve brug V_{pp}	Rimpel volledige brug V_{pp}
1 μF	100 Ω		
1 μF	1 k Ω		
1 μF	10 k Ω		
10 μF	100 Ω		
10 μF	1 k Ω		
10 μF	10 k Ω		
100 μF	100 Ω		
100 μF	1 k Ω		
100 μF	10 k Ω		

11 Meten met de oscilloscoop: *Common ground*

De zwarte klemmen van de meetsnoeren die we gebruiken om onze schakeling aan te sluiten op de oscilloscoop of functiegenerator zijn intern met elkaar verbonden via de randarde van het stopcontact. Dit betekent dus dat we de zwarte klemmen van zowel de oscilloscoop als de functiegenerator niet aan verschillende punten binnen een schakeling kunnen aansluiten.

Opdracht 7: Common ground oscilloscoop en functiegenerator

- Leg uit waarom we V_{in} en V_{out} in **schakeling 3** niet gemakkelijk tegelijkertijd kunnen meten met de oscilloscoop.
- Wat gebeurt er als we toch kanaal 1 van de oscilloscoop zouden aansluiten op V_{in} en tegelijkertijd kanaal 2 aansluiten op V_{out} ?

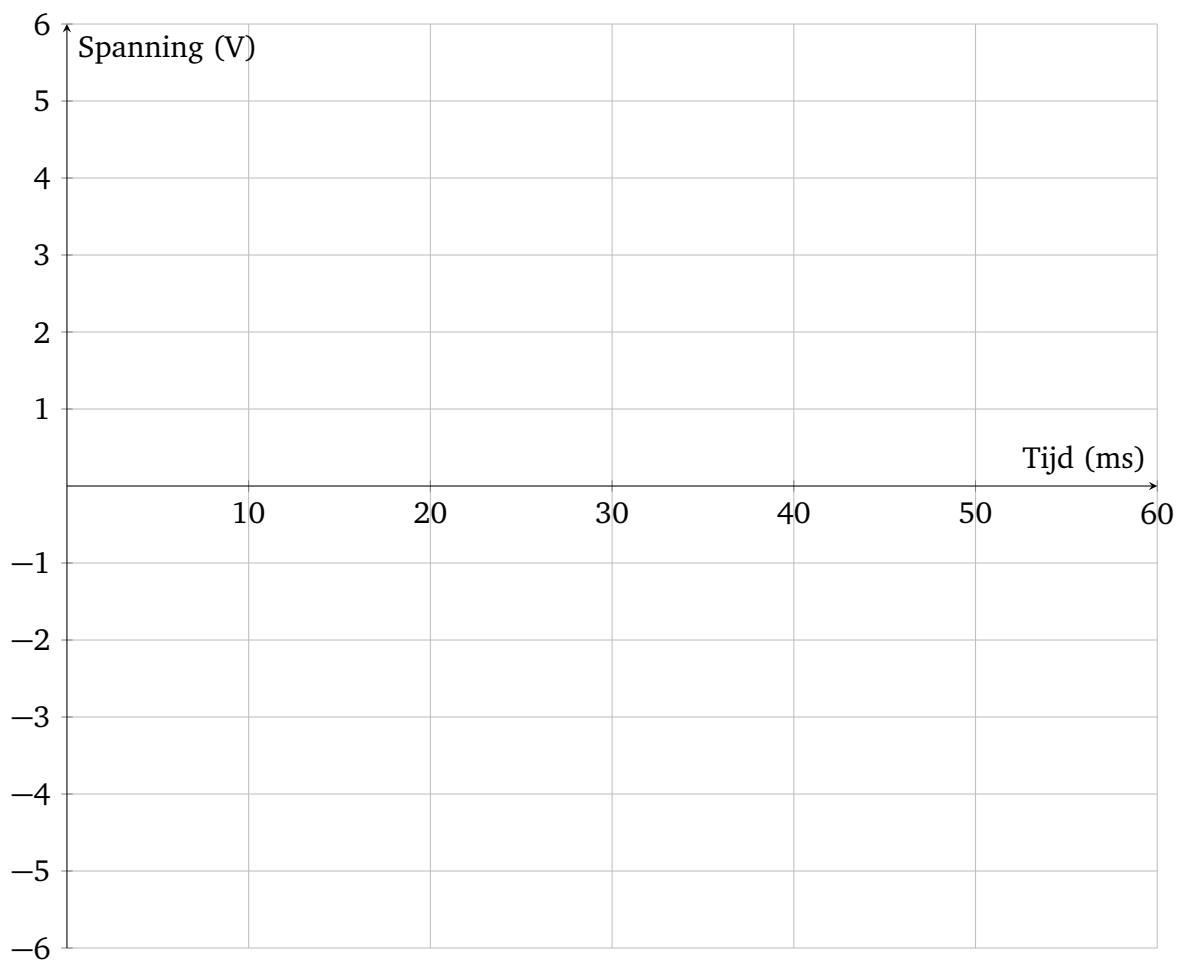
Conclusie 7

12 Meten aan een volledige gelijkrichterbrug

Opdracht 8: Meten aan een volledige gelijkrichterbrug

1. Als het goed is, is de AC-voeding nog steeds ingesteld op $10V_{pp}$. Zorg dat de AC-voeding uit staat!
2. Bouw **schakeling 3** op maar laat de condensator nog even weg. Kies voor de diodes de 1N4007 en kies voor R_L 1 k Ω .
3. Pak de simulatie van **schakeling 3** die hebt voorbereid voor het begin van de les erbij. Kies dezelfde componenten en ingangsspanning en plot de ingangsspanning V_{in} en de uitgangsspanning V_{out} . Leg uit hoe je in je simulatie de ingangsspanning kunt weergeven (plotten).
4. Sluit de AC-voeding aan op V_{in} . *Als het goed is weet je nu waarom je V_{in} in deze schakeling niet moet aansluiten op de oscilloscoop. Laat kanaal 1 van de oscilloscoop dan ook open en verwijder het meetsnoer van de oscilloscoop!*
5. Sluit de uitgang V_{out} aan op kanaal 2 van de oscilloscoop.
6. **Laat je schakeling controleren voordat je de AC-voeding aanzet!**
7. Bekijk het signaal op de oscilloscoop. Teken V_{in} en V_{out} in **figuur 4**. (V_{in} kun je nu niet meten met de oscilloscoop, maar wel overnemen uit **figuur 3**.) Vergelijk je meting met je simulatie. Komt deze overeen?
8. Meet met behulp van de *measure* functie op de oscilloscoop de frequentie van V_{out} . Welke frequentie heeft het signaal? Hoe kun je dit verklaren?
9. Bepaal hoeveel kleiner de piekspanning van uitgangssignaal van de volledige gelijkrichterbrug is dan de piekspanning van het ingaande signaal. Kun je verklaren hoe dit komt?
10. Meet met behulp van de oscilloscoop de V_{PP} , V_P , V_{AVG} en V_{RMS} van het uitgangssignaal van de volledige gelijkrichterbrug en vul deze resultaten in **tabel 3** in.

11. Hoe verschillen de gemiddelde (V_{avg}) en RMS (V_{RMS}) waarden tussen beide gelijkrichters?
12. Kies nu $100\mu\text{F}$ voor C in **schakeling 3** en voeg deze toe in je opgebouwde schakeling. Wat is het resultaat?
13. Varieër nu op basis van **tabel 4** de waarde van C en R_L weer en meet steeds de piek-piek waarde van de rimpelspanning. Vul de kolom *Rimpel volledige brug* in.
14. Hoe verschilt de rimpelspanning tussen de halve gelijkbrug en de volledige gelijkrichterbrug?



Figuur 4: Ingangsspanning en uitgangsspanning van een volledige gelijkrichterbrug.

Opdracht 9: Vergelijkingen en conclusie.

1. Verklaar (mede) op basis van **tabel 4** waarom een volledige gelijkrichterbrug efficiënter is dan een halve gelijkrichterbrug.
2. Bekijk het filmpje *Making a Full Bridge Rectifier* op <https://www.youtube.com/watch?v=sI5Ftm1-jik> nogmaals.
3. Begrijp je nu de enorm snelle uitleg in de eerste 45 seconden van het filmpje?
4. Welke fout(en) die is/zijn behandeld in deze opdracht ontdek je in het filmpje? (*Hint: minuut 2.27*)
5. Welke fouten die niet direct zijn behandeld in deze opdracht (bijvoorbeeld op het gebied van veiligheid) ontdek je in het filmpje? (*Hint: minuut 1.23, 1.55, 2.51, 3.14, 3.40 en 3.55*) Verklaar waarom dit niet veilig is.

Conclusie 9

13 Controle en aftekenen

Controleer de volgende punten voordat je deze labopdracht laat aftekenen. Indien je één van deze vragen met **nee** kunt beantwoorden zal de opdracht niet worden afgetekend.

- Is de labopdracht uitgeprint?
- Zijn alle metingen volledig en door jezelf uitgevoerd?
- Zijn alle vragen waarbij ruimte voor beantwoording is vrijgelaten ook daadwerkelijk door jezelf in je eigen woorden beantwoord?
- Zijn alle grafieken en tabellen volledig ingevuld? Zijn grafieken voorzien van een legenda?
- Heb je zinvolle conclusies opgeschreven en deze goed onderbouwd in je eigen woorden? (*Lege vakjes zijn niet zinvol...*)
- Kun je alle metingen, antwoorden op de vragen en resultaten verklaren aan de docent?
- Kun je soortgelijke metingen herhalen en verklaren op de praktijktoets?
- Heb je alle mogelijke fouten die je kunt maken benoemd met een oplossing, zodat je deze niet maakt tijdens de praktijktoets?

Tijdens het aftekenen zal de docent je metingen, antwoorden en conclusies met je bespreken en vragen aan je stellen om te controleren of je de leerdoelen goed beheerst. Is er iets niet in orde, dan zal de docent je vragen om metingen opnieuw uit te voeren of de antwoorden opnieuw te formuleren zodat je goed bent voorbereid op de toetsen en je carrière als elektrotechnisch ingenieur. *We zijn er om je te helpen!*