

Naam: Klas: Studentnummer:

Inleiding

In dit practicum bouwen we voort op de opgedane kennis van ELE10 en passen we de theorie van ELE20 toe in de praktijk. Deze eerste week beginnen we met een aantal basiswetten: de wetten van Kirchhoff, het superpositie beginsel en Thévenin vervangingsschema's.

Ook gaan we weer gebruik maken van de simulatietool LTspice, die je ook al in kwartaal 1 hebt leren kennen. Dit is een belangrijk hulpmiddel om schakelingen op hun correcte werking te kunnen testen, voordat je ze opgebouwd hebt.

Leerdoelen

- De wetten van Kirchhoff kunnen toepassen
- De uitkomsten van simulaties en metingen in de praktijk met elkaar kunnen vergelijken
- Het superpositie beginsel kunnen uitleggen en dit gebruiken om alle stromen en spanningen in een netwerk te kunnen bepalen
- Een Thévenin vervangingsschema kunnen bepalen

Vorbereiding op de les

- Lees Hambley §1.2 *Circuits, Currents and Voltages*, §1.4 *Kirchhoff's Current Law*, §1.4 *Kirchhoff's Voltage Law*, §2.6 *Thévenin and Norton equivalent Circuits* en §2.7 *Superposition Principle* door.
- Simuleer **schakeling 1** in LTspice en zorg ervoor dat je simulatie werkt voordat je naar het practicum komt. Neem deze simulatie dus mee naar het practicum!
- Noteer het laatste cijfer van je studentnummer. Dit cijfer noemen we x . De spanning V_A is nu gelijk aan $(10 + x)$ V.
- Noteer het een na laatste cijfer van je studentnummer. Dit cijfer noemen we y . De spanning V_B is nu gelijk aan $(15 + y)$ V.

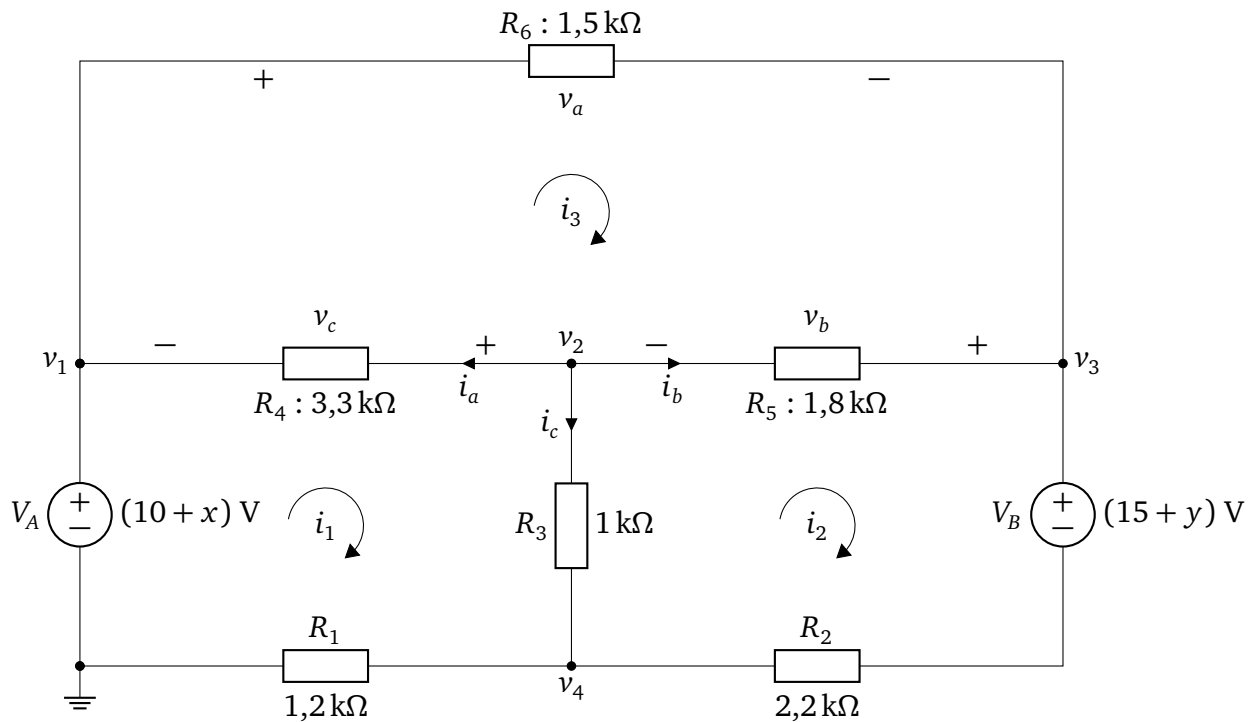
Hergebruik van componenten in de labs

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 Wetten van Kirchhoff



Schakeling 1: Circuit voor Kirchhoff analyse

Tabel 1: Metingen van knooppuntspanningen en maasstromen

	v_1 (V)	v_2 (V)	v_3 (V)	v_4 (V)	i_1 (mA)	i_2 (mA)	i_3 (mA)
Simulatie:							
Meting:							

Tabel 2: Metingen van spanningen in een maas en takstromen in een knooppunt

	v_a (V)	v_b (V)	v_c (V)	Som (V)	i_a (mA)	i_b (mA)	i_c (mA)	Som (mA)
Simulatie:								
Meting:								

Opdracht 1: Knooppuntspanningen en maasstromen

1. Bekijk **schakeling 1**. Leg in je eigen woorden uit wat een knooppunt is:

2. Ten opzichte van welk punt meet je knooppuntspanningen?

3. Open de simulatie van **schakeling 1** die je hebt voorbereid.
4. Meet in de simulatie de spanningen op de knooppunten v_1 , v_2 , v_3 en v_4 en vul deze in in **tabel 1**.
5. Bouw **schakeling 1** op. Meet de spanningen op de knooppunten v_1 , v_2 , v_3 en v_4 en vul deze in in **tabel 1**.
De gemeten spanningen zouden overeen moeten komen met de simulatie. Is dit niet het geval, controleer dan je simulatie en opgebouwde schakeling en vraag een docent om hulp als het nog niet helemaal lukt.
6. Leg in je eigen woorden uit wat een maas is:

7. In **schakeling 1** zijn de maasstromen i_1 , i_2 en i_3 getekend. Wanneer door een weerstand slechts één maasstroom loopt, is deze maasstroom gelijk aan de stroom door deze weerstand. Door welke weerstand kun je i_1 meten? En door welke i_2 en i_3 ?

8. Meet in de simulatie de maasstromen i_1 , i_2 en i_3 en vul deze in in **tabel 1**.
*Let hierbij goed op de richting van de getekende stromen in **schakeling 1** en de richting waarin LTspice de stromen meet.*
9. Meet de maasstromen i_1 , i_2 en i_3 in de opgebouwde schakeling en vul deze in in **tabel 1**.
De gemeten maasstromen zouden overeen moeten komen met de simulatie. Is dit niet het geval, controleer dan je metingen en vraag een docent om hulp als het nog niet helemaal lukt.

Opdracht 2: De wetten van Kirchhoff

1. In **schakeling 1** zijn voor knooppunt v_2 de uitgaande takstromen i_a , i_b en i_c getekend. Meet deze stromen in de simulatie en tel deze op. Noteer de resultaten in **tabel 2**.

*Let weer goed op de richting van de stromen zoals getekend in **schakeling 1** en de richting die LTspice aangeeft.*

2. Meet de stromen i_a , i_b en i_c in de opgebouwde schakeling en tel deze op. Noteer de resultaten in **tabel 2**.

De gemeten takstromen zouden overeen moeten komen met de simulatie. Is dit niet het geval, controleer dan je metingen en vraag een docent om hulp als het nog niet helemaal lukt.

3. Leg in je eigen woorden uit wat de stroomwet van Kirchhoff inhoudt:

4. In **schakeling 1** zijn voor de maas i_3 alle spanningen over de componenten in deze maas (R_6 , R_5 en R_4) getekend als v_a , v_b en v_c . Meet deze spanningen in de simulatie en tel deze op. Noteer de resultaten in **tabel 2**.

*Let weer goed op de richting van de spanningen in **schakeling 1**.*

5. Meet de spanningen v_a , v_b en v_c in de opgebouwde schakeling en tel deze op. Noteer de resultaten in **tabel 2**.

De gemeten spanningen zouden overeen moeten komen met de simulatie. Is dit niet het geval, controleer dan je metingen en vraag een docent om hulp als het nog niet helemaal lukt.

6. Leg in je eigen woorden uit wat de spanningswet van Kirchhoff inhoudt:

2 Het superpositie beginsel

Schakeling 1 wordt hier opnieuw gebruikt om het principe van superpositie te demonstreren.

Opdracht 3: Superpositie

1. Ga uit van **schakeling 1**, maar zet nu alleen spanningsbron V_A aan. Spanningsbron V_B vervang je in de simulatie met een draad. In de opgebouwde schakeling haal je de 4mm aansluitsnoeren van V_B uit de labvoeding en steekt deze in elkaar.
2. Meet de spanningen op de knooppunten v_1 , v_2 , v_3 en v_4 in de simulatie en in de opgebouwde schakeling en vul deze in **tabel 3** bij *Simulatie A* en *Meting A* in.
3. Meet de maasstromen i_1 , i_2 en i_3 in de simulatie en in de opgebouwde schakeling en vul deze in **tabel 3** bij *Simulatie A* en *Meting A* in.
4. Zet V_B terug in de simulatie en sluit deze in de opgebouwde schakeling weer aan op de labvoeding.
5. Zet nu alleen spanningsbron V_B aan. Spanningsbron V_A vervang je in de simulatie met een draad. In de opgebouwde schakeling haal je de 4mm aansluitsnoeren van V_A uit de labvoeding en steekt deze in elkaar.
6. Meet de spanningen op de knooppunten v_1 , v_2 , v_3 en v_4 in de simulatie en in de opgebouwde schakeling en vul deze in **tabel 3** bij *Simulatie B* en *Meting B* in.
7. Meet de maasstromen i_1 , i_2 en i_3 in de simulatie en in de opgebouwde schakeling en vul deze in **tabel 3** bij *Simulatie B* en *Meting B* in.
8. Tel de spannings- en stroomwaarden van beide simulaties en metingen bij elkaar op en vul dit wederom in **tabel 3** in.
9. Vergelijk de uitkomsten in **tabel 3** met uitkomsten van de originele schakeling in **tabel 1**. Wat valt op?
10. Geef in je eigen woorden aan wat superpositie inhoudt:

Tabel 3: Superpositie

	v_1 (V)	v_2 (V)	v_3 (V)	v_4 (V)	i_1 (mA)	i_2 (mA)	i_3 (mA)
Simulatie A:							
Simulatie B:							
Opgeteld:							
Meting A:							
Meting B:							
Opgeteld:							

3 Het Thévenin vervangingschema

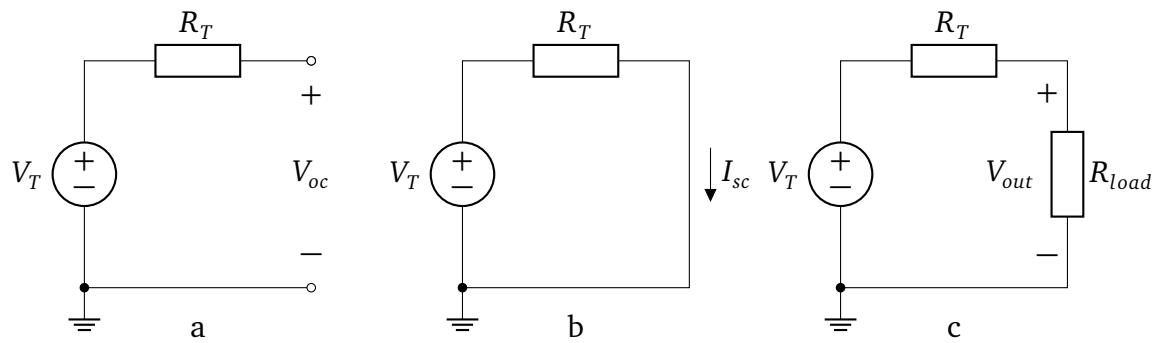
De schakeling uit de vorige opdracht wordt hier opnieuw gebruikt, maar dan om het principe van een Thévenin vervangingschema te demonstreren.

Opdracht 4: Bepaal het Thévenin vervangingschema

1. Ga weer uit van **schakeling 1** en zorg dat beide spanningsbronnen weer aangesloten zijn in de simulatie en in de opgebouwde schakeling.
2. We gaan nu kijken naar het gedrag van de schakeling gezien vanuit weerstand R_3 , dus tussen de knooppunten v_2 en v_4 .
3. Verwijder weerstand R_3 uit de simulatie en uit de opgebouwde schakeling. De aansluitingen waar R_3 zat noemen we nu de *open klemmen* van de schakeling.
4. Meet in de simulatie en in de opgebouwde schakeling de spanning op de punten waar R_3 aangesloten was. Dit wordt de open-klemspanning V_{oc} van de schakeling genoemd. Noteer deze in **tabel 4**.
5. Zet nu de multimeter op gelijkstroombereik en sluit deze aan op de punten waar R_3 aangesloten was. Meet de stroom (in mA) die nu gaat lopen. Dit wordt de kortsluitstroom I_{sc} genoemd. Noteer deze in **tabel 4**.
6. In LTspice kun je tussen v_4 en v_2 een draad trekken (kortsluiten). De stroom door een draad kun je meten door de *Alt* toets ingedrukt te houden en daarna op de draad te klikken. Noteer ook deze kortsluitstroom in **tabel 4**.
7. Controleer dat alle metingen overeenkomen met de simulaties. *Vraag een docent om hulp als dit niet lukt, of als je vindt dat je metingen te ver afwijken.*
8. Bereken op basis van deze simulaties en metingen de Thévenin vervangingsweerstand $R_T = \frac{V_{oc}}{I_{sc}}$ gezien vanuit de knooppunten v_2 en v_4 en vul dit in **tabel 4** in:

Tabel 4: Thévenin

	V_{oc} (V)	I_{sc} (mA)	R_t (Ω)
Simulatie schakeling 1 :			
Meting schakeling 1 :			
Simulatie schakeling 2 :			
Meting schakeling 2 :			



Schakeling 2: Thévenin vervangingscircuit met (a) open klemmen, (b) kortgesloten, (c) belastingsweerstand

Opdracht 5: Metingen aan Thévenin vervangingscircuit

1. Simuleer **schakeling 2** in LTspice. Gebruik voor V_{oc} en R_T de waarden uit **tabel 4**. Meet de open-klemspanning V_{oc} en de kortsluitstroom I_{sc} en noteer deze in **tabel 4**.
2. Bouw **schakeling 2** op, naast **schakeling 1**. *Op veel werkplekken is een extra DC labvoeding (meestal wel van een ander merk of type) aanwezig zodat je zelfs tegelijkertijd aan beide schakelingen kunt meten, mocht er iets niet helemaal lijken te kloppen.*
3. Meet de open-klemspanning V_{oc} en de kortsluitstroom I_{sc} en noteer deze in **tabel 4**.
4. Plaats weerstand R_3 weer terug in **schakeling 1** en voeg een weerstand met dezelfde waarde toe als belastingsweerstand in **schakeling 2**. Doe dit zowel in de simulatie als in de opgebouwde schakeling.
5. Meet de spanning over R_3 en R_L , en de stroom door R_3 en R_L in de simulaties en in de opgebouwde schakelingen en noteer deze:
6. Leg in je eigen woorden uit wat het Thévenin vervangingscircuit doet:

Opdracht 6: Verschillende belastingen aan een Thévenin vervangingsschema

1. Sluit op zowel **schakeling 1** (op de plaats van R_3) als op **schakeling 2** een aantal belastingsweerstand R_{load} aan en meet daarbij de uitgangsspanning V_{out} .
2. Op basis van deze waarden kun je nu de stroom I_{out} door deze belastingsweerstand uitrekenen en dus ook het uitgangsvermogen P_{out} dat in deze belastingsweerstand gedissipeerd wordt.
3. Vul deze gegevens in **tabel 5** (voor **schakeling 1**) en in **tabel 6** (voor **schakeling 2**) in.
4. Zet de gegevens van beide metingen nu uit in **figuur 1**. Kies zowel voor de x-as als voor de y-as een goede schaalverdeling en zorg voor een duidelijke legena bij de grafiek (gebruik bij voorkeur verschillende kleuren).
5. Bij welke waarde van R_{load} is het uitgangsvermogen P_{out} nu het grootst?

Tabel 5: Metingen aan **schakeling 1**

$R_{load} (\Omega)$	$V_{out} (V)$	$I_{out} (mA)$	$P_{out} (mW)$
$0.10 \cdot R_T$			
$0.25 \cdot R_T$			
$0.50 \cdot R_T$			
$1.00 \cdot R_T$			
$1.50 \cdot R_T$			
$2.00 \cdot R_T$			

Tabel 6: Metingen aan **schakeling 2**

$R_{load} (\Omega)$	$V_{out} (V)$	$I_{out} (mA)$	$P_{out} (mW)$
$0.10 \cdot R_T$			
$0.25 \cdot R_T$			
$0.50 \cdot R_T$			
$1.00 \cdot R_T$			
$1.50 \cdot R_T$			
$2.00 \cdot R_T$			



Figuur 1: P_{out} uitgezet tegen R_{load}

4 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!*