

ELE20: Basis Elektrotechniek - Week 1

Hogeschool Rotterdam - Opleiding Elektrotechniek

Introductie

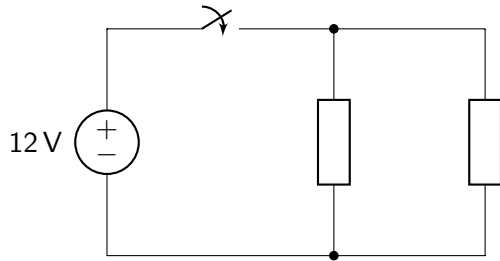
1. Organisatie ELE20
2. Introductie Lading, Spanning en Stroom
3. Introductie componenten
4. Introductie wetten van Kirchhoff
 - Kirchhoff's Current Law, KCL, knooppuntmethode
 - Kirchhoff's Voltage Law, KVL, maasmethode
5. Weerstand serie/parallel, spanning- en stroomdeling
6. Kirchhoff's Current Law, KCL, Knooppuntmethode

Cursushandleiding

Elektrische schakelingen

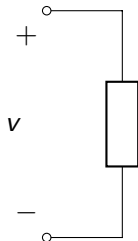
Model van een auto circuit

- Spanningsbron stelt accu voor
- Weerstand stellen de lampen voor
- Draden stellen de geleiders voor

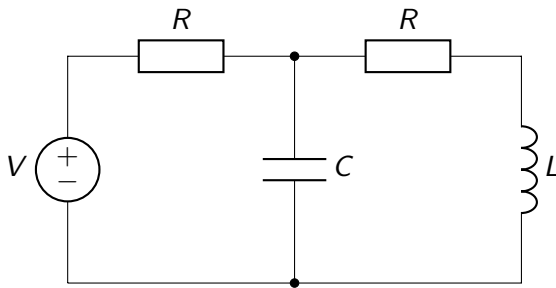


Lading, Spanning en Stroom

- Een schakeling werkt door elektronen met lading
- Lading Q valt te manipuleren (bewegen) met elektrische velden. Eenheid is Coulomb (C)
- Spanning V is een indicatie van de sterkte en polariteit van zo'n elektrisch veld. Eenheid is Volt (V)
- Stroom I is de beweging van lading onder dit elektrisch veld. Het heeft een sterkte en richting. Eenheid is Ampère (A)
- $I = \frac{Q}{t}$ en $V = \frac{E}{Q}$, dus ook $P = \frac{E}{t}$
- Eenheden: $[A] = \frac{[C]}{[s]}$, $[V] = \frac{[J]}{[C]}$, $[W] = \frac{[J]}{[s]}$
- **Elektrische stroom** loopt met het elektrisch veld mee, van plus naar min
- **Elektronenstroom** loopt van min naar plus

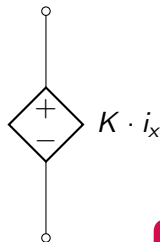
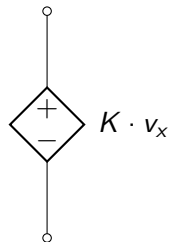
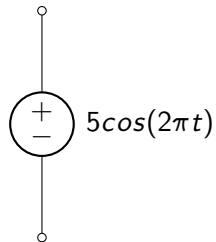
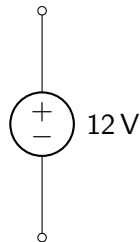


Componenten



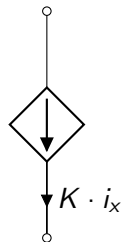
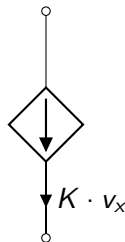
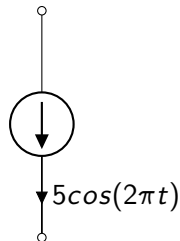
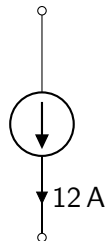
De spanningsbron

- spanning staat **OVER** een schakeling
- Spanning staat vast, stroom niet.
- Spanningsbron wil altijd een vaste spanning maken
- NOOIT DOEN: spanningsbron kortsluiten
- Kan ook gecontroleerd worden door een andere stroom of spanning
- Afhankelijke spanningsbron
 - Voltage controlled voltage source (VCVS)
 - Current controlled voltage source (CCVS)



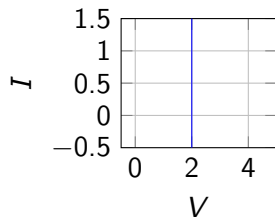
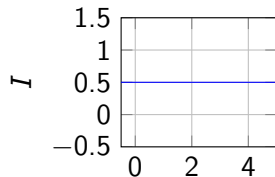
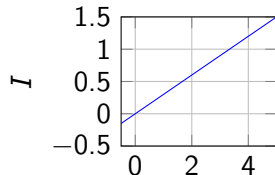
De stroombron

- Stroom loopt **DOOR** een schakeling
- Stroom staat vast, spanning niet
- Stroombron wil altijd een vaste stroom leveren
- NOOIT DOEN: stroombron open laten
- Kan ook gecontroleerd worden door een andere stroom of spanning
- Afhankelijke stroombron
 - Voltage controlled current source (VCCS)
 - Current controlled current source (CCCS)



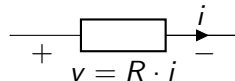
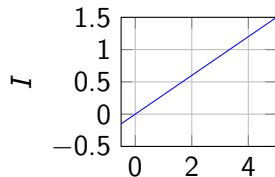
Spanning/Stroom grafiek

- Een component heeft altijd een relatie tussen stroom en spanning
- Uiteindelijk zijn we geïnteresseerd wat een schakeling doet met de spanningen en stromen
- Van welke componenten zijn deze figuren?



De weerstand

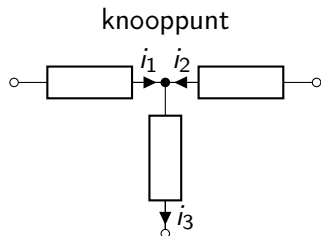
- De weerstand beperkt de stroom
- Eenheid Ohm (Ω)
- Relatie $i = \frac{V}{R}$. De richtingscoëfficiënt is $\frac{1}{R}$
 - Bij een vaste spanning: hoe groter de weerstand, hoe kleiner de stroom
 - Bij een vaste stroom: hoe groter de weerstand, hoe groter de spanning
- In serie neemt de totale weerstand toe
- In parallel neemt de totale weerstand af



$$R_{\text{serie}} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$

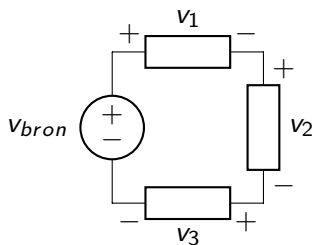
$$R_{\text{parallel}} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots + \frac{1}{R_n}}$$

Kirchhoff's wetten

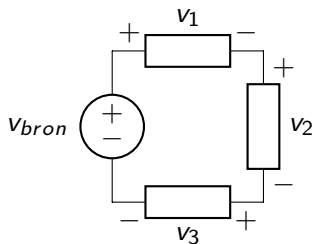
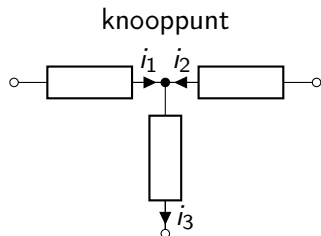


Kirchhoff's Current Law, KCL, $\sum I = 0$

- De som van alle stromen, die een knooppunt ingaan, is gelijk aan 0 A
- $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$, dus ook $I_1 + I_2 = I_3$



Kirchhoff's wetten



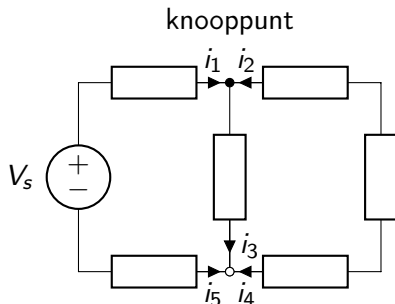
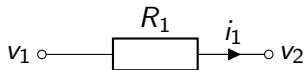
Kirchhoff's Current Law, KCL, $\sum I = 0$

- De som van alle stromen, die een knooppunt ingaan, is gelijk aan 0 A
- $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$, dus ook $I_1 + I_2 = I_3$

Kirchhoff's Voltage Law, KVL, $\sum V = 0$

- De som van alle spanningen, in een gesloten lus, is gelijk aan 0 V
- $-V_{bron} + V_1 + V_2 + V_3 = 0$

Kirchhoff's Current Law

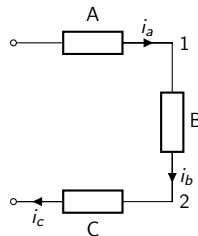
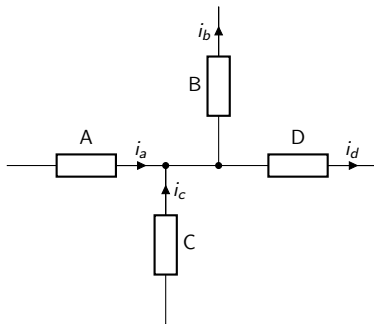


Kirchhoff's Current Law, KCL, $\sum I = 0$

- De som van alle stromen, die een knooppunt ingaan, is gelijk aan 0 A
- De richting van de stroom is erg belangrijk, hoe bepaal je die?
- Afspraak: uitgaande stroom is positief
- $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$, dus ook $I_1 + I_2 = I_3$

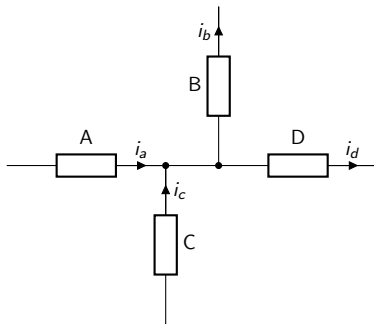
Oefenen met KCL

Stel voor de knooppunten een KCL vergelijking op.

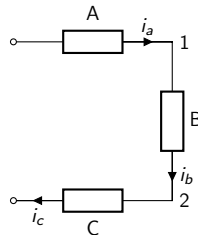


Oefenen met KCL

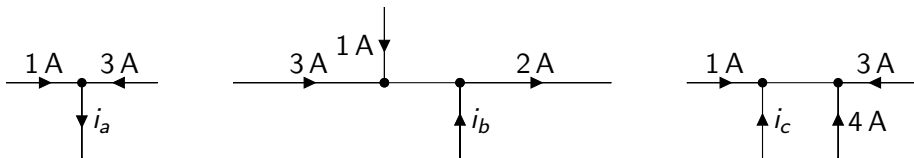
Stel voor de knooppunten een KCL vergelijking op.



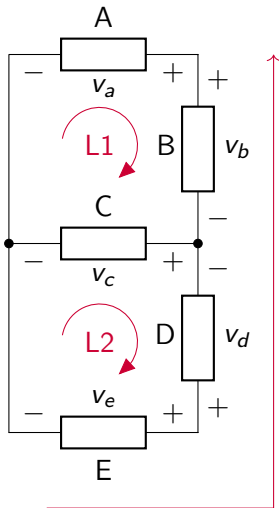
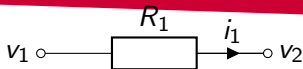
$$i_a + i_c = i_b + i_d \quad \text{en} \quad i_a = i_b = i_c$$



Oefenen met KCL



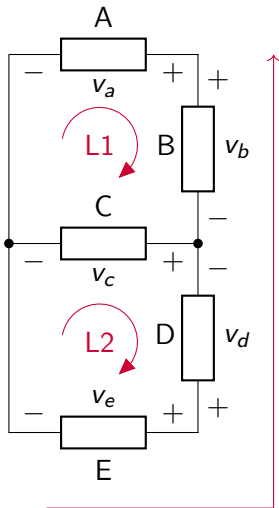
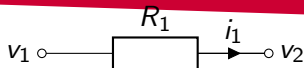
Spanningswet van Kirchhoff(KVL)



Kirchhoff's Voltage Law, KVL, $\sum V = 0$

- De som van alle spanningen, in een gesloten lus, is gelijk aan 0 V
- $-V_{bron} + V_1 + V_2 + V_3 = 0$
- Dit geldt voor elke individuele lus.

Spanningswet van Kirchhoff(KVL)



Kirchhoff's Voltage Law, KVL, $\Sigma V = 0$

- De som van alle spanningen, in een gesloten lus, is gelijk aan 0 V
- $-V_{bron} + V_1 + V_2 + V_3 = 0$
- Dit geldt voor elke individuele lus.

$$L1: -v_a + v_b + v_c = 0$$

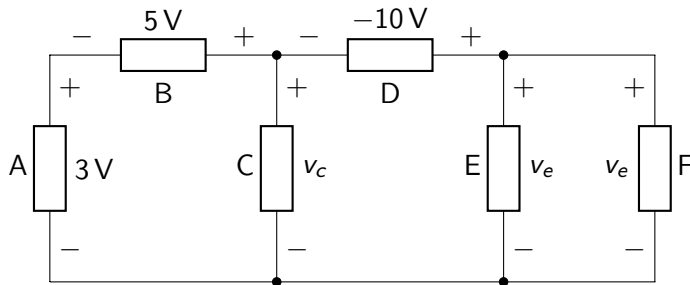
$$L2: -v_c - v_d + v_e = 0$$

$$\text{totaal: } -v_e + v_d - v_b + v_a = 0$$

Volg de richting van de pijl; Kom je eerst een plus tegen dan tel je de spanning op, kom je eerst een min tegen dan trek je de spanning af

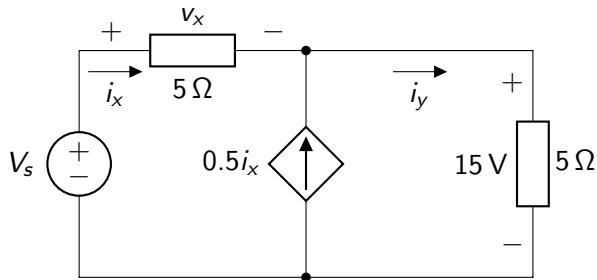
KVL oefening

Bepaal v_c en v_e .



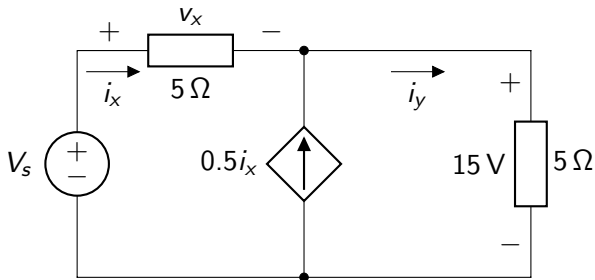
Toepassing Kirchhoff

Bepaal V_S m.b.v. KCL of KVL



Toepassing Kirchhoff

Bepaal V_S m.b.v. KCL of KVL



Antwoord:

$$i_y = \frac{15 \text{ V}}{5 \Omega} = 3 \text{ A}$$

$$i_x + 0.5 i_x = i_y = 3 \text{ A}$$

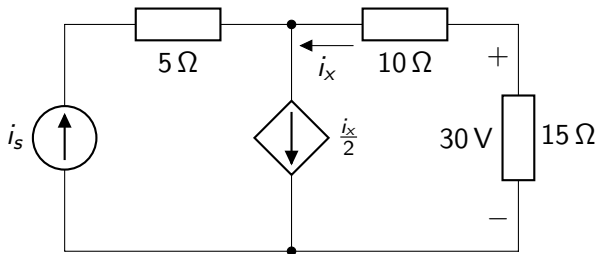
$$i_x = 2 \text{ A}$$

$$v_x = 5 i_x = 10 \text{ V}$$

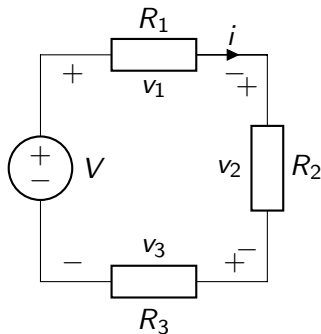
$$V_S = v_x + 15 \text{ V} = 25 \text{ V}$$

Toepassing Kirchhoff

Bepaal i_s en i_x m.b.v. KCL of KVL



Weerstanden in serie



KVL maken: $-V + v_1 + v_2 + v_3 = 0$

Dus: $V = v_1 + v_2 + v_3$

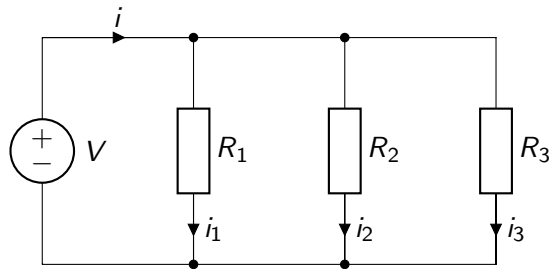
Ook geldt dat: $v_1 = i \cdot R_1$, $v_2 = i \cdot R_2$ en $v_3 = i \cdot R_3$

Dus: $V = i \cdot R_1 + i \cdot R_2 + i \cdot R_3 = i(R_1 + R_2 + R_3)$

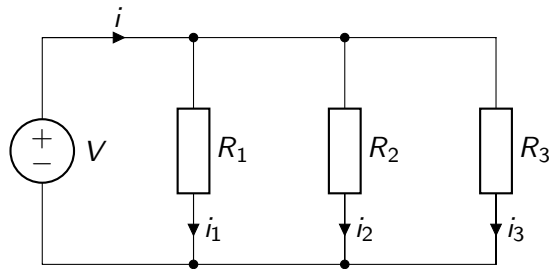
$V = i \cdot R_v$, met $R_v = R_1 + R_2 + R_3$.

Conclusie: bij een serieschakeling worden de weerstanden bij elkaar opgeteld.

Weerstanden parallel



Weerstanden parallel



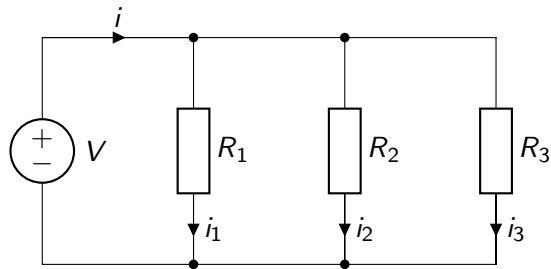
Voor 2 weerstanden geldt: $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

$$R_1 R_2 = R_2 R_v + R_1 R_v$$

$$R_1 R_2 = R_v (R_2 + R_1)$$

$$\text{Dus ook: } R_v = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Weerstanden parallel



Voor 2 weerstanden geldt: $\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

$$R_1 R_2 = R_2 R_v + R_1 R_v$$

$$R_1 R_2 = R_v (R_2 + R_1)$$

$$\text{Dus ook: } R_v = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

KCL maken: $-i + i_1 + i_2 + i_3 = 0$

Dus: $i = i_1 + i_2 + i_3$

Ook geldt dat: $i_1 = \frac{V}{R_1}$, $i_2 = \frac{V}{R_2}$ en

$$i_3 = \frac{V}{R_3}$$

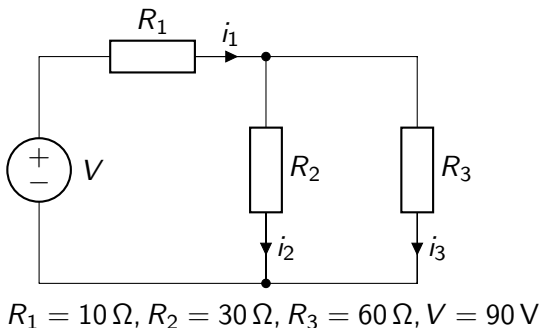
Dus: $i = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}$

$$i = V \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

$$i = \frac{V}{R_v}, \text{ met } \frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

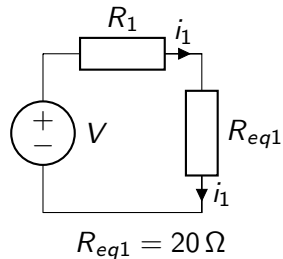
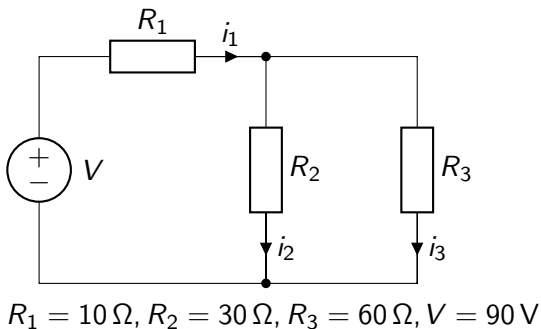
Circuit analyse met serie en parallelweerstand

Eenvoudige circuits op te lossen met serie/parallelweerstand.
Kirchhoff KCL en KVL gebruiken voor meer complexe circuits.



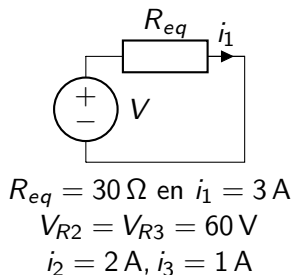
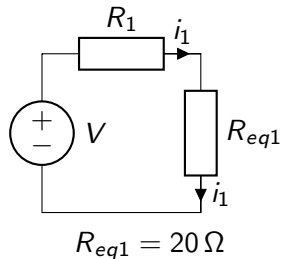
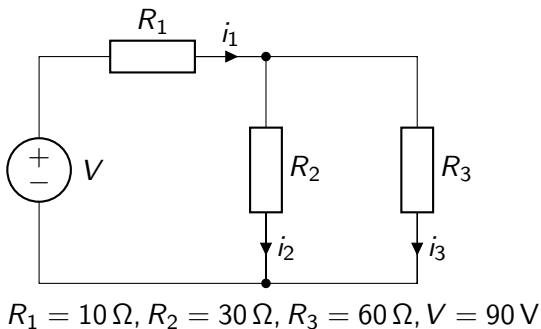
Circuit analyse met serie en parallelweerstand

Eenvoudige circuits op te lossen met serie/parallelweerstand.
Kirchhoff KCL en KVL gebruiken voor meer complexe circuits.

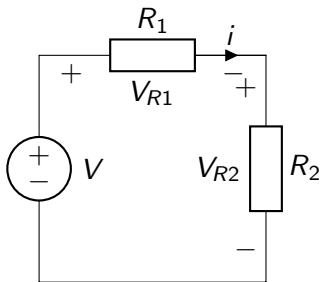


Circuit analyse met serie en parallelweerstand

Eenvoudige circuits op te lossen met serie/parallelweerstand.
Kirchhoff KCL en KVL gebruiken voor meer complexe circuits.



Spanningsdeler



$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

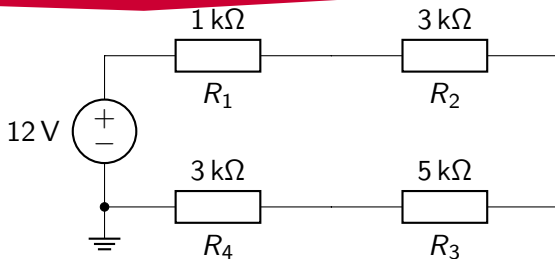
$$i = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

$$v_{R1} = i \cdot R_1 = \frac{V}{R_1 + R_2} R_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V$$

$$v_{R2} = i \cdot R_2 = \frac{V}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

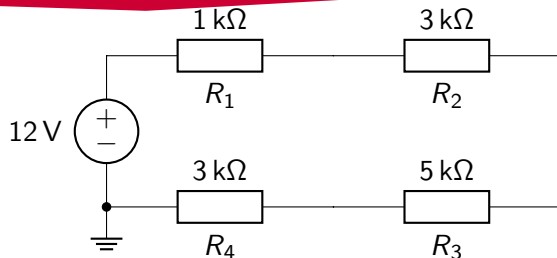
Dit zijn de formules voor een spanningsdeler.

Spanningsdeling voorbeeld



Oefening: Bepaal de stroom door de weerstanden en de spanning over elke weerstand.

Spanningsdeling voorbeeld



Oefening: Bepaal de stroom door de weerstanden en de spanning over elke weerstand.

$$I_{tot} = \frac{V}{R} = \frac{12}{1k + 3k + 5k + 3k} = \frac{12}{12k} = 1 \text{ mA}$$

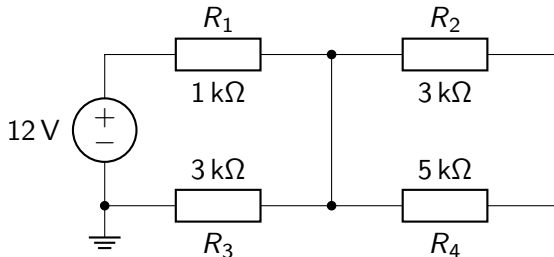
$$V = I \cdot R \Rightarrow 1 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 1 \text{ V}$$

$$V_{3k} = 1 \text{ mA} \cdot 3 \text{ k}\Omega = 3 \text{ V}$$

$$V_{5k} = 1 \text{ mA} \cdot 5 \text{ k}\Omega = 5 \text{ V}$$

Spanningsdeling oefening

Bereken de stroom die de spanningsbron levert en de spanning over elke weerstand.



Spanningsdeling oefening

Bereken de stroom die de spanningsbron levert en de spanning over elke weerstand.

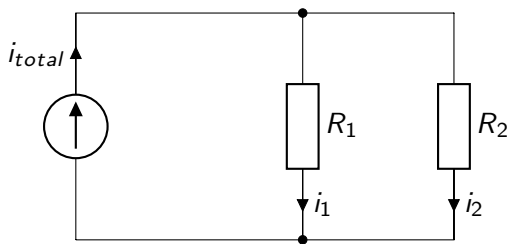
Antwoord: R_2 en R_4 worden kortgesloten, dus alle stroom loopt door R_1 en R_3 .

$$I_b = \frac{12}{1k + 3k} = 3 \text{ mA}$$

$$U_{1k} = 3 \text{ mA} \cdot 1 \text{ k}\Omega = 3 \text{ V}$$

$$U_{3k} = 3 \text{ mA} \cdot 3 \text{ k}\Omega = 9 \text{ V}$$

Stroomdeler



$$R_v = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$v_{R1} = v_{R2} = i_{total} \cdot R_v$$

$$v_{R1} = v_{R2} = i_{total} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Nu stromen uitrekenen:

$$i_{R1} = \frac{i_{total} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_1} = i_{total} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

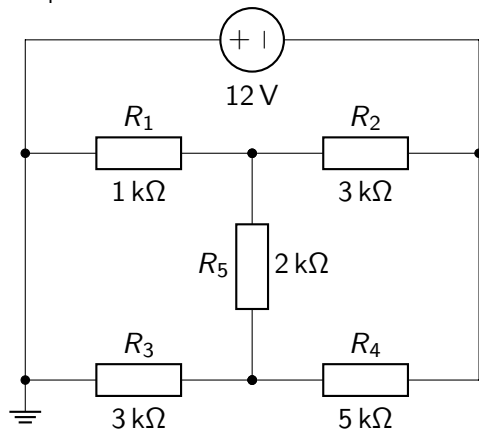
$$i_{R2} = \frac{i_{total} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_2} = i_{total} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Dit zijn de formules voor een stroomdeler.

Een meer complex circuit

Bereken de stroom door R_5 en de spanning over R_4 .

Hoe lossen we dit op?

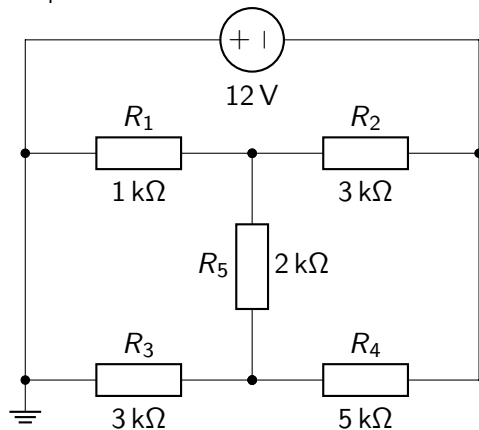


Een meer complex circuit

Bereken de stroom door R_5 en de spanning over R_4 .

Hoe lossen we dit op?

- De knooppuntmethode (KCL)
- De maasmethode (KVL)



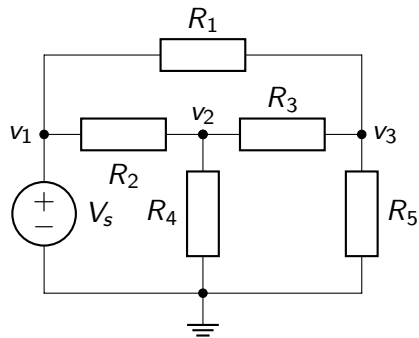
De knooppuntmethode

Stappenplan:

- Kies een knooppunt als 0 V (GND)
- Benoem de andere knooppunten (v_1 , v_2 etc.)
- Gebruik KCL op elk van de knooppunten.
 - Tel uitgaande(ingaaande) stromen vanaf knooppunt op tot 0
 - Maak hierbij gebruik van de wet van Ohm $i = \frac{U}{R}$
- Los het stelsel vergelijkingen op m.b.v. de regel van Cramer

De Knoop puntmethode

- Voorbeeld: KCL, $\sum I = 0$, uitgaande stroom is hier positief
- Tip 1: Geen KCL opstellen voor knooppunten met een spanningsbron.
- Levert wel een 'gratis' vergelijking op (hier: $v_1 = V_s$).

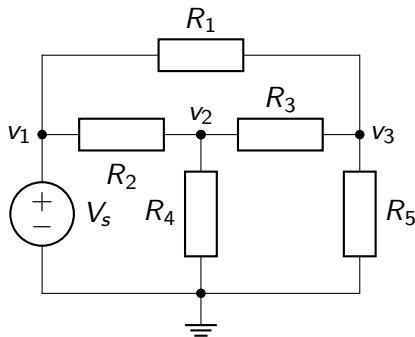


De Knooppuntmethode

- Voorbeeld: KCL, $\Sigma I = 0$, uitgaande stroom is hier positief
- Tip 1: Geen KCL opstellen voor knooppunten met een spanningsbron.
- Levert wel een 'gratis' vergelijking op (hier: $v_1 = V_s$).

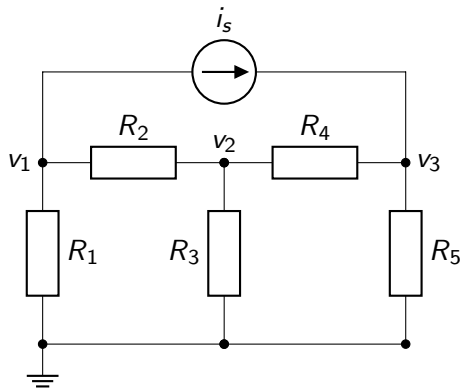
$$\begin{aligned}
 & \text{KP1} \Rightarrow v_1 = v_s \\
 & \text{KP2} \Rightarrow \frac{v_2 - v_1}{R_2} + \frac{v_2}{R_4} + \frac{v_2 - v_3}{R_3} = 0 \\
 & \text{KP3} \Rightarrow \frac{v_3 - v_2}{R_3} + \frac{v_3}{R_5} + \frac{v_3 - v_1}{R_1} = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ -\frac{1}{R_2} & \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} & -\frac{1}{R_3} \\ -\frac{1}{R_1} & -\frac{1}{R_3} & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_s \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$



De knooppuntmethode: oefening 1

Stel knooppuntvergelijkingen op voor v_1, v_2 en v_3 en zet dit in matrix-vorm.



De knooppuntmethode: oefening 1

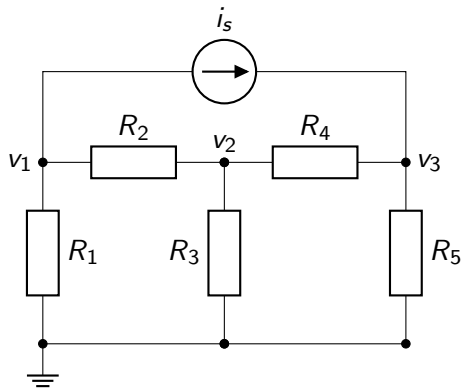
Stel knooppuntvergelijkingen op voor v_1, v_2 en v_3 en zet dit in matrix-vorm.

$$\text{KP1} \Rightarrow \frac{v_1 - 0}{R_1} + \frac{v_1 - v_2}{R_2} + i_s = 0$$

$$\text{KP2} \Rightarrow \frac{v_2 - v_1}{R_2} + \frac{v_2}{R_3} + \frac{v_2 - v_3}{R_4} = 0$$

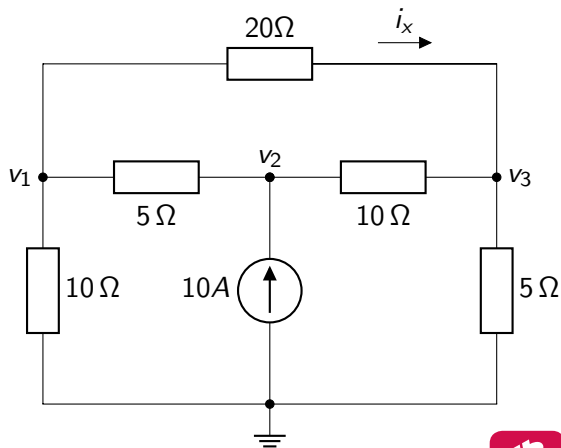
$$\text{KP3} \Rightarrow \frac{v_3 - v_2}{R_4} + \frac{v_3}{R_5} - i_s = 0$$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} & -\frac{1}{R_2} & 0 \\ -\frac{1}{R_2} & \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} & -\frac{1}{R_4} \\ 0 & -\frac{1}{R_4} & \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -i_s \\ 0 \\ i_s \end{pmatrix}$$



De knooppuntmethode: oefening 2

Oefening: Stel knooppunt vergelijkingen op voor v_1 , v_2 en v_3 , zet dit in matrix-vorm en los vervolgens op met behulp van de regel van Cramer.



De knooppuntmethode: oefening 2

Oefening: Stel knooppunt vergelijkingen op voor v_1 , v_2 en v_3 , zet dit in matrix-vorm en los vervolgens op met behulp van de regel van Cramer.

$$\frac{V_1 - 0}{10} + \frac{V_1 - V_2}{5} + \frac{V_1 - V_3}{20} = 0$$

$$\frac{V_2 - V_1}{5} - 10 + \frac{V_2 - V_3}{10} = 0$$

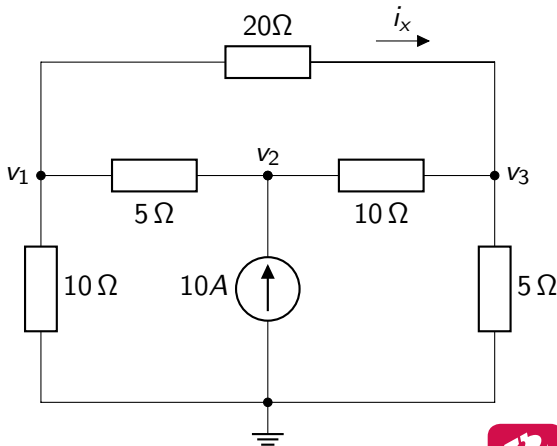
$$\frac{V_3 - V_2}{10} + \frac{V_3 - 0}{5} + \frac{V_3 - V_1}{20} = 0$$

Nu breuken wegwerken:

$$7V_1 - 4V_2 - V_3 = 0$$

$$-2V_1 + 3V_2 - V_3 = 100$$

$$-V_1 - 2V_2 + 7V_3 = 0$$



De knooppuntmethode: oefening 2

Oefening: Stel knooppunt vergelijkingen op voor v_1 , v_2 en v_3 , zet dit in matrix-vorm en los vervolgens op met behulp van de regel van Cramer.

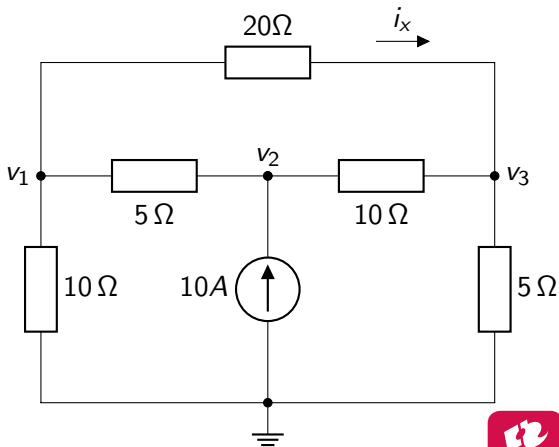
$$7V_1 - 4V_2 - V_3 = 0$$

$$-2V_1 + 3V_2 - V_3 = 100$$

$$-V_1 - 2V_2 + 7V_3 = 0$$

$$\begin{pmatrix} 7 & -4 & -1 \\ -2 & 3 & -1 \\ -1 & -2 & 7 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 100 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$v_1 = \frac{\begin{vmatrix} 0 & -4 & -1 \\ 100 & 3 & -1 \\ 0 & -2 & 7 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 7 & -4 & -1 \\ -2 & 3 & -1 \\ -1 & -2 & 7 \end{vmatrix}} = \frac{3000}{66} \approx 45.46 \text{ V}$$

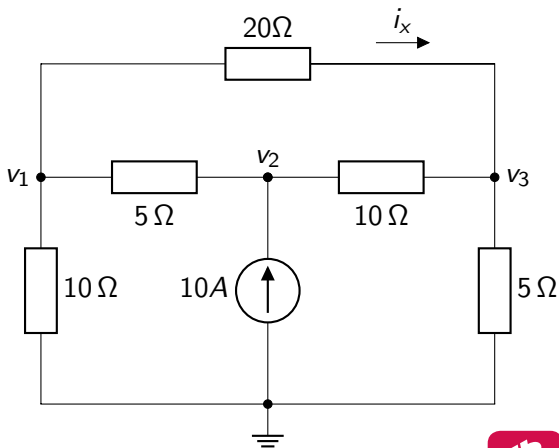


De knooppuntmethode: oefening 2

Oefening: Stel knooppunt vergelijkingen op voor v_1 , v_2 en v_3 , zet dit in matrix-vorm en los vervolgens op met behulp van de regel van Cramer.

$$\begin{pmatrix} 7 & -4 & -1 \\ -2 & 3 & -1 \\ -1 & -2 & 7 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 100 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$v_2 = \frac{\begin{vmatrix} 7 & 0 & -1 \\ -2 & 100 & -1 \\ -1 & 0 & 7 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 7 & -4 & -1 \\ -2 & 3 & -1 \\ -1 & -2 & 7 \end{vmatrix}} = \frac{4800}{66} \approx 72.73 \text{ V}$$

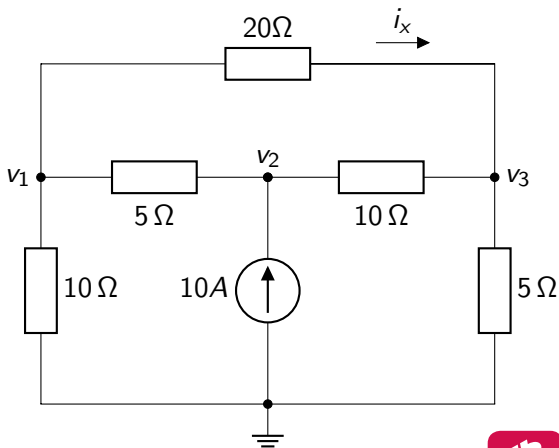


De knooppuntmethode: oefening 2

Oefening: Stel knooppunt vergelijkingen op voor v_1 , v_2 en v_3 , zet dit in matrix-vorm en los vervolgens op met behulp van de regel van Cramer.

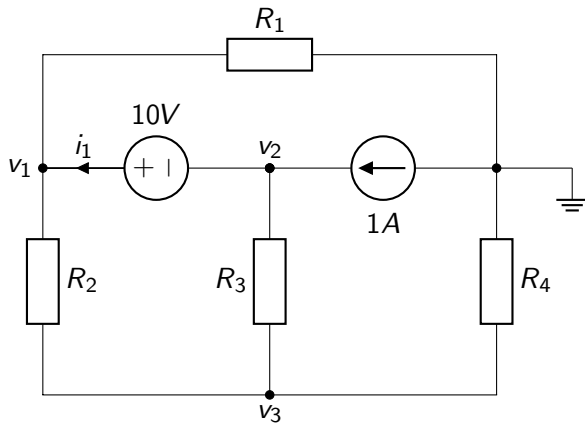
$$\begin{pmatrix} 7 & -4 & -1 \\ -2 & 3 & -1 \\ -1 & -2 & 7 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 100 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$v_3 = \frac{\begin{vmatrix} 7 & -4 & 0 \\ -2 & 3 & 100 \\ -1 & -2 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 7 & -4 & -1 \\ -2 & 3 & -1 \\ -1 & -2 & 7 \end{vmatrix}} = \frac{1800}{66} \approx 27.27 \text{ V}$$



De knooppuntmethode

Oefening: Hoeveel onbekende spanningen zijn er? Stel voor dat aantal knooppuntvergelijkingen op. **Let op KCL tip 1!**



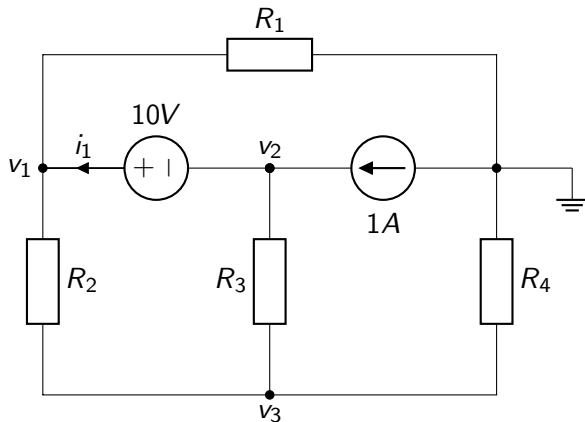
De knooppuntmethode

Oefening: Hoeveel onbekende spanningen zijn er? Stel voor dat aantal knooppuntvergelijkingen op. **Let op KCL tip 1!**

$$v_1 = v_2 + 10$$

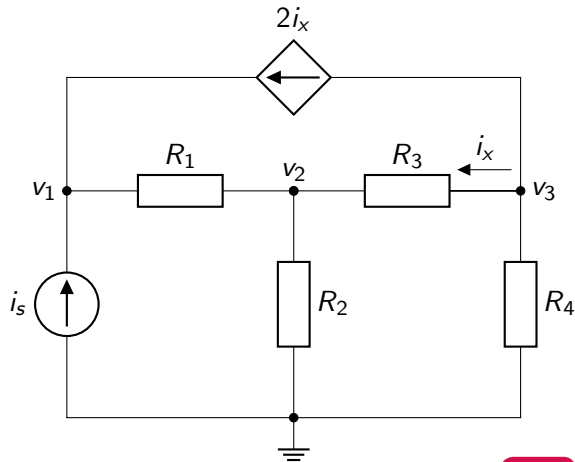
$$\frac{v_3 - v_1}{R_2} + \frac{v_3 - v_2}{R_3} + \frac{v_3 - 0}{R_4} = 0$$

$$\frac{0 - v_1}{R_1} + 1 + \frac{0 - v_3}{R_4} = 0$$



Knooppuntmethode met afhankelijke stroombron

Oefening: Knooppuntmethode met afhankelijke stroombron. Stel de vergelijkingen op.

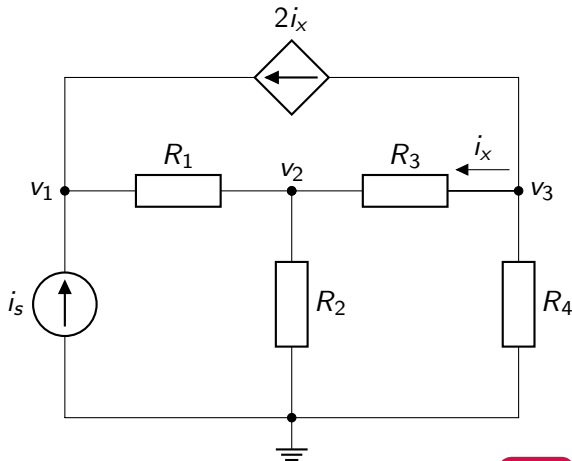


Knooppuntmethode met afhankelijke stroombron

Oefening: Knooppuntmethode met afhankelijke stroombron. Stel de vergelijkingen op.

$$\begin{aligned}\frac{v_1 - v_2}{R_1} - i_s - 2i_x &= 0 \\ \frac{v_2 - v_1}{R_1} + \frac{v_2 - 0}{R_2} + \frac{v_2 - v_3}{R_3} &= 0 \\ \frac{v_3 - v_2}{R_3} + 2i_x + \frac{v_3 - 0}{R_4} &= 0 \\ \frac{v_3 - v_2}{R_3} &= i_x\end{aligned}$$

Substitutie!



Knooppuntmethode met afhankelijke stroombron

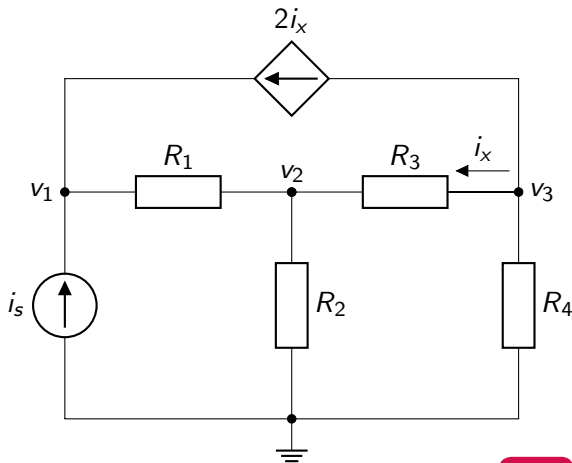
Oefening: Knooppuntmethode met afhankelijke stroombron. Stel de vergelijkingen op.

$$\frac{v_1 - v_2}{R_1} = i_s + 2 \frac{v_3 - v_2}{R_3}$$

$$\frac{v_2 - v_1}{R_1} + \frac{v_2}{R_2} + \frac{v_2 - v_3}{R_3} = 0$$

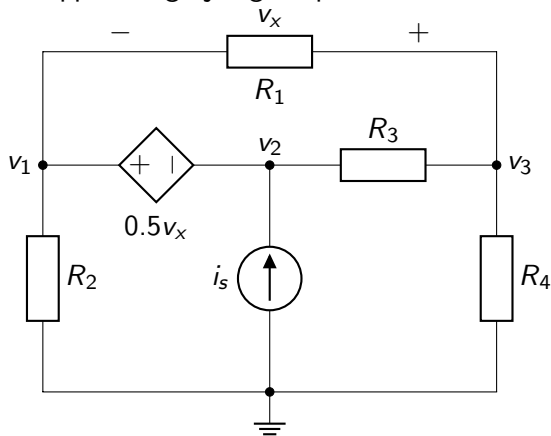
$$\frac{v_3 - v_2}{R_3} + 2 \frac{v_3 - v_2}{R_3} + \frac{v_3}{R_4} = 0$$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{R_1} & -\frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_3} & -\frac{2}{R_3} \\ -\frac{1}{R_1} & \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} & -\frac{1}{R_3} \\ 0 & -\frac{3}{R_3} & \frac{3}{R_3} + \frac{1}{R_4} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i_s \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$



Knoop puntmethode met afhankelijke spanningsbron

Oefening: Stel de knooppuntvergelijkingen op. Los het stelsel in termen van i_s op.



Huiswerk

- Hambley H1.2 opgaven P1.5 tot en met P1.10
- Hambley H1.4 opgaven P1.31 tot en met P1.39
- Hambley H1.5 opgaven P1.40 tot en met P1.46
- Hambley H1.7 opgaven P1.59 tot en met P1.77 (let op errata bij P1.66 en P1.77)
- Hambley H2.1 opgaven P2.1 t/m P2.21 (weerstanden serie/parallel)
- Hambley H2.2 opgaven P2.22 t/m P2.35 (serie/parallel equivalent)
- Hambley H2.3 opgaven P2.36 t/m P2.47 (spanning/stroom deler)