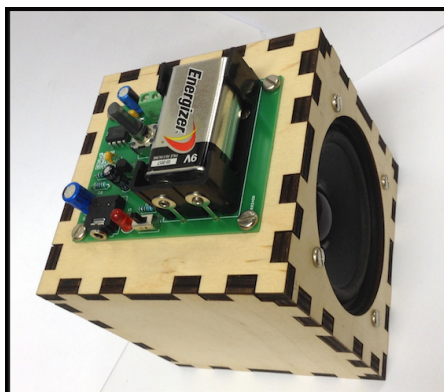


# Labo: Ontwerp van een audio versterker



Figuur 1: E-VUBOX 2k15

## Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Doelstelling</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Elektronica: componenten en schakelingen</b>	<b>2</b>
2.1	De weerstand . . . . .	2
2.1.1	Serie en parallel . . . . .	3
2.2	De spanningsbron . . . . .	4
2.3	Mini-netwerk . . . . .	4
2.4	Netwerken . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Bouwstenen van de E-VUBOX</b>	<b>6</b>
3.1	Versterken van audio . . . . .	6
3.2	De volumeknop: de weerstandsdeler . . . . .	7
3.3	De aan/uit LED: de diode . . . . .	8
3.4	De versterker: de transistor . . . . .	8

## 1 Doelstelling

In dit labo gaan we een eerste stap in de elektronica zetten door zelf een audio versterker te maken, stap voor stap van de basiselektronica tot het finaal product. Tijdens deze opdracht gaan we ook een kijkje nemen in het brein van een ingenieursstudent elektronica wanneer die

zo'n taak vervuld. We gaan beginnen met een inleiding in de elektronica, kennismaking met basisregels, componenten en schakelingen, naar complexere onderdelen, tot de versterker!

Als stromen, spanningen, de wet van Ohm en de wetten van Kirchhoff geen bekende concepten zijn, volgt hier een overzicht van de wonderlijke wereld van de elektronica met alles wat je moet weten. Indien je al een basis hebt in elektronica, mag je het deel "Elektronica: componenten en schakelingen" snel overlopen en onmiddellijk beginnen met hoofdstuk 3 op pagina 6.

## 2 Elektronica: componenten en schakelingen

Elektronica is het gebruik van de beweging van elektronen om informatie te verwerken, te versturen of op te slaan. Dit doen we door netwerken van elektronische componenten te bouwen. Elektronische componenten zijn eenvoudige bouwstenen waarmee we complexe schakelingen kunnen bouwen op zo een manier dat die specifieke taken uitvoeren: het ontvangen en versturen van berichtjes met een gsm, het afbeelden van een foto op een scherm en vele andere toepassingen die je elke dag tegenkomt. Je hebt waarschijnlijk een stuk elektronica in jouw broekzak op dit ogenblik!

GSM, AUTOMATIC CARS, HEALTCARE, PS4, etc..

De schematische voorstelling van elektronische componenten en een netwerk zijn te vinden in Figuur 2. Met pijltjes zijn de twee grootheden aangeduid die in de elektronica opperbelangrijk zijn :

1. de **spanning** (ook voltage of potentiaal genoemd) gemeten in volt [V], vaak aangeduid met de letter  $V$  of  $U$ . Dit stelt het verschil in potentiële elektrische energie **tussen twee punten**.
2. de **stroom** gemeten in ampère [A], vaak aangeduid met de letter  $I$ . Dit stelt de verplaatsing voor van een hoeveelheid ladingen (hier elektronen) door de component per tijdseenheid.

Stroom en spanning veranderen meestal in functie van de tijd, anders zou er natuurlijk niet veel interessants gebeuren, ze worden dan beschreven door wiskundige functies. Enkele voorbeelden:

$$I(t) = 0.1A \cdot \sin(t), \quad (1)$$

$$V(t) = 4V \cdot e^{-\frac{t}{10s}}. \quad (2)$$

waar  $t$  de tijd is in seconden.

Elke component voldoet aan fysische wetten die zijn stroom en de spanning bepalen. Laten we kennismaken met die fysische wetten, en daarna we gaan onmiddellijk ons eerste netwerk oplossen. We bekijken twee basiselementen van de elektronica: de weerstand en de spanningsbron.

### 2.1 De weerstand

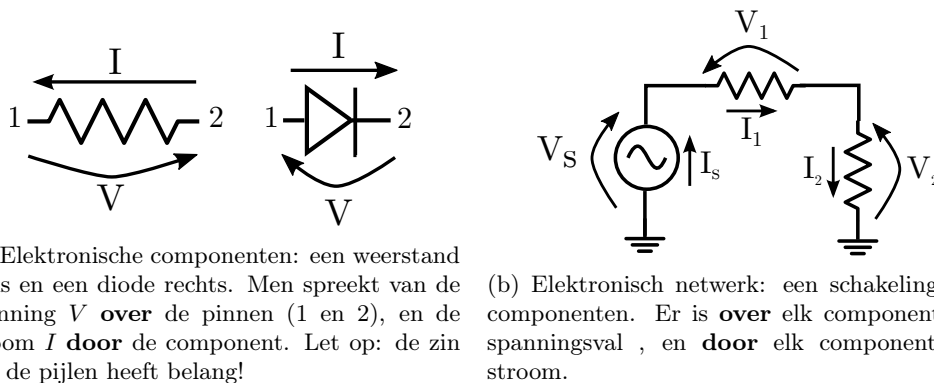
In figuur 2a zie je een weerstand (de zaagtand). De weerstand voldoet aan de **wet van Ohm**:

$$V = R \cdot I \quad (3)$$

$R$  is een eigenschap van de weerstand die men ook elektrische weerstand noemt, het is gemeten in Ohm<sup>1</sup> [ $\Omega$ ].  $V$  is de spanning over de weerstand en  $I$  de stroom door de weerstand.

---

<sup>1</sup>Georg Simon Ohm (1787 - 1854) was een Duits wiskundige en natuurkundige, ontdekker van de wet van Ohm in 1827.



Figuur 2: Componenten en een schakeling.

Een weerstand kan je zien als een belemmer van stroom: om door een grote weerstand een hoge stroom te laten vloeien moet je een grote spanning aanleggen. Met een kleine weerstand voldoet een kleine spanning om een grote stroom te hebben.

Zo dadelijk volgt een voorbeeld, we gaan eerst zien wat weerstanden in serie en in parallel zijn, en kennismaken met de spanningsbron.

### 2.1.1 Serie en parallel

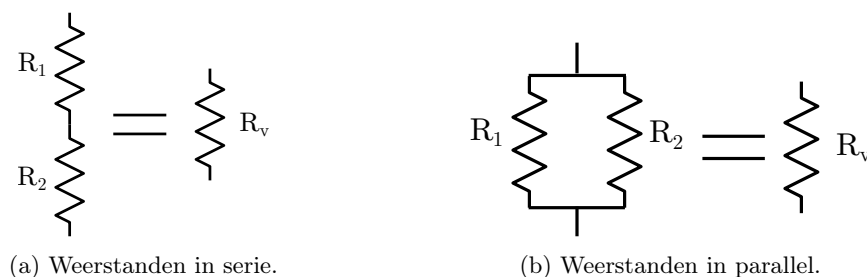
Soms kan je twee weerstanden door een weerstand vervangen als ze speciaal samenzitten, dat kan het ontwerpen gemakkelijker maken. Dit kan in twee gevallen (zie figuur 3):

- twee weerstanden zijn **in serie**: ze hebben één gemeenschappelijke pin, dan is de vervangingsweerstand :

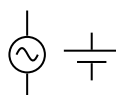
$$R_v = R_1 + R_2. \quad (4)$$

- twee weerstanden staan **parallel**: de twee weerstanden hebben beide pinnen gemeenschappelijk. Dan geldt voor de vervangingsweerstand

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (5)$$



Figuur 3: Serie en parallel.



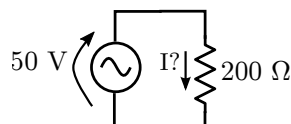
Figuur 4: Spanningsbronnen. Links: de spanning verandert met de tijd. Rechts: de spanning is constant.

## 2.2 De spanningsbron

Een spanningsbron is een simpel elektronisch component die gehoorzaamt aan een eenvoudige wet: de spanningsbron legt de spanning over zijn pinnen vast, onafhankelijk van de rest van het netwerk. Een 9V-batterij is een voorbeeld van een spanningsbron, die de spanning over zijn pinnen vastlegt op constant 9 V. Een spanningsbron kan een constante spanning opleggen, maar niets verbiedt dat de spanning met de tijd verandert. Beide type bronnen hebben hun eigen schematische voorstelling die je kan vinden in figuur 4.

## 2.3 Mini-netwerk

We gaan binnenkort wetten ontdekken van nog meer componenten, maar met onze voorlopige kennis kunnen we al volgend netwerk oplossen!



Figuur 5: Voorbeeldnetwerkje.

**Voorbeeld:** Een spanningsbron legt een spanning op van 50 V over een weerstand van 200 Ω. Men kan de stroom door de weerstand berekenen op de volgende manier:

$$(\text{Wet van Ohm}) \quad V = R \cdot I \Leftrightarrow I = \frac{V}{R} \Leftrightarrow I = \frac{50 \text{ V}}{200 \Omega} = 0,25 \text{ A} \quad (6)$$

**Doe-het-zelf:** Wat is de waarde  $R$  van een weerstand waarover een spanning van  $V = 25 \text{ V}$  is en waardoor een stroom van  $I = 0,1 \text{ A}$  loopt?

.....  
 .....  
 .....

Nu we een simpel netwerk kunnen oplossen, gaan we zien hoe we grotere netwerken moeten oplossen.

## 2.4 Netwerken

Een netwerk is een aaneenschakeling van componenten, die schematisch wordt voorgesteld zoals in figuur 2b. Er zijn maar twee regels die gelden voor elektrische netwerken: de wetten van Kirchhoff<sup>2</sup>. Samen met de fysische wetten van de componenten kan je dan alle netwerken van de

<sup>2</sup>Gustav Robert Kirchhoff (1824 - 1887) was een Duits natuurkundige. Kirchhoff formuleerde zijn spanningswet en zijn stroomwet in 1845, toen hij nog een student was. Slimme kerel!

wereld oplossen. Een netwerk oplossen wilt zeggen dat je alle stromen en spanningen bepaalt in dat netwerk.

**De stroomwet van Kirchhoff:** in elk knooppunt in een elektrische kring is de som van de stromen die in dat punt samenkomen gelijk aan de som van de stromen die vanuit dat punt vertrekken. Dit is voor elk knooppunt geldig, onafhankelijk van de componenten die op de takken zijn.

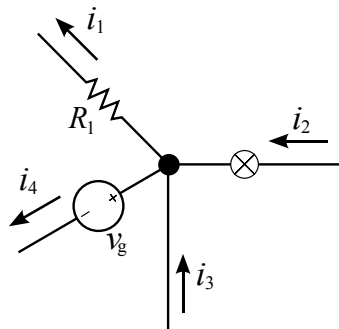
**De spanningswet van Kirchhoff:** de som van de elektrische potentiaalverschillen (rekening houdend met de richting) in elke gesloten lus in een kring is gelijk aan nul.

**Voorbeeld** De stroomwet (figuur 6a) wordt toegepast als volgt: kies een knooppunt in een netwerk. Beschouw alle takken die dat knooppunt raken, en de bijhorende stromen. Pas op, de richting van de stroom-pijlen is zeer belangrijk. Als je alle stromen optelt die **naar** het knooppunt wijzen, dan is dat gelijk aan alle stromen die **weg** van het knooppunt wijzen.

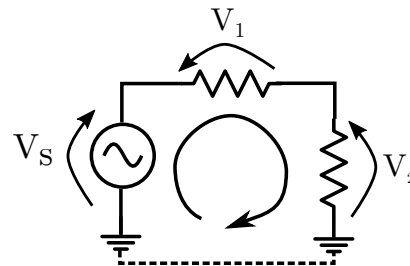
Voor dat we spanningswet toepassen, hebben we de betekenis van het symbool  $\perp$  nodig. Dit symbool wordt de **grond** genoemd. Het is geen component, maar een manier aan te duiden dat alle punten met dat symbool eigenlijk verbonden zijn. Je mag dus eigenlijk een connectie tekenen tussen alle pinnen die aan de grond verbonden zijn. Er werd al gezegd dat een spanning altijd gedefinieerd is tussen twee punten. Meestal wordt de grond gebruikt als een van die twee punten, en we zeggen dat de grond op 0 V is.

**Voorbeeld** De spanningswet (figuur 6b) pas je zo toe: vind een gesloten lus in het netwerk (vergeet niet dat alle pinnen aan grond met elkaar verbonden zijn). Teken een lus met een zekere richting in het netwerk. Schrijf de som van de spanningen rekening houdend met de volgende regels:

1. Als de spanning in dezelfde richting gaat als de lus, dan krijgt die een positief teken.
2. Als de spanning tegen de lus ingaat, dan krijgt die een negatief teken.



(a) In dit knooppunt is de stroomwet van Kirchhoff :  $i_1 + i_4 = i_2 + i_3$



(b) In deze lus is de spanningswet van Kirchhoff :  $+V_S - V_1 - V_2 = 0$

Figuur 6: De wetten van Kirchhoff

**Fun fact:** Je kan de vergelijkingen voor serie en parallel weerstanden (sectie 2.1.1) afleiden met behulp van de wetten van Kirchhoff en de wet van Ohm.

**Oefening van Kirchhoff:** - 4 takken met één onbekende: KCL - lus met 5 componenten met één onbekende spanning: KVL

We zijn nu gereed om de bouwstenen van onze versterker te ontwerpen!

## 3 Bouwstenen van de E-VUBOX

In dit deel gaan we stap voor stap de onderdelen van onze versterker bouwen. We beginnen met een volumeregelaar, omdat we alles al kennen om die te maken. We gaan dan een simpele aan/uit LEDje ontwerpen zodat we weten wanneer onze versterker aan is. Daarna houden we ons bezig met de eigenlijke versterking en gaan we kennismaken met de transistor die ons daarmee gaat helpen.

Maar eerst en vooral: waarom en hoe versterk je muziek?

### 3.1 Versterken van audio

Ook als je een student in elektronisch ingenieur bent, is een basiskennis in de rest van de wetenschappen toch handig. Want voordat we geluid gaan versterken, moeten we weten wat geluid is!

Geluid is een drukgolf door een lucht. De luchtdeeltjes bewegen heen en weer, en wanneer ze jouw trommelvlies raken, hoor je het geluid. Om het te versterken moeten we eerst de drukgolf omzetten naar iets dat een elektronisch schakeling kan gebruiken. Daarvoor dient een microfoon! Het trillen van luchtdeeltjes wordt in een microfoon omgezet naar het trillen van elektronen. Voor de rest van het netwerk is de microfoon eigenlijk een spanningsbron.

Een voorbeeld van een specifiek geluid is een muziknoot. De muziknoot “la” hoor je wanneer de luchtdruk op een zekere plaats golft met een frequentie<sup>3</sup> van 440 Hz. Je kan de luchtdruk golf die we horen als een “la” wiskundig voorstellen als een sinus:

$$y(t) = A \cdot \sin(2\pi \cdot 440 \text{ Hz} \cdot t) \quad (7)$$

met  $y(t)$  de luchtdruk in Pascal,  $A$  de amplitude van de drukgolf in Pascal en  $t$  de tijd in seconden.

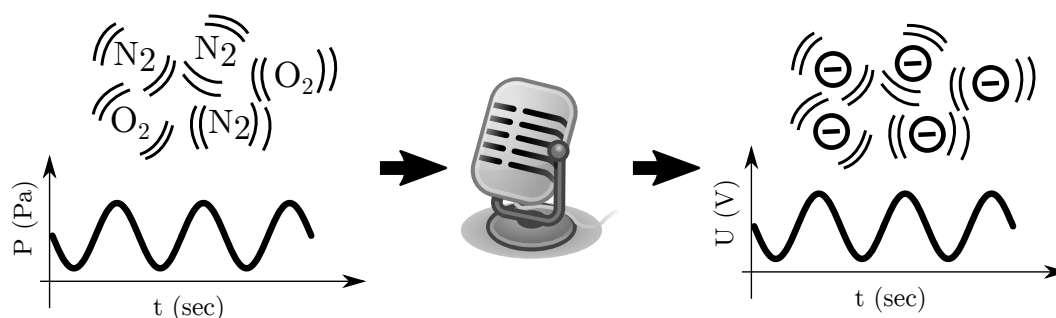
De microfoon gaat die drukgolf omvormen naar een spanningsgolf, met dezelfde frequentie (zie figuur 7. Men kan die nu versterken met een elektronisch netwerk, omdat we een spanning hebben! Die spanningsgolf kan dan onmiddellijk worden versterkt of opgeslagen in een mp3-bestand en later gebruikt in een muzikspeler.

Om de muziek te kunnen horen moeten we de spanningsgolf terug omzetten naar een luchtdruk golf, en daarvoor gebruiken we een luidspreker, die exact het omgekeerde doet van een microfoon. Maar als we de spanningsgolf onmiddellijk aansluiten aan de luidspreker, gaat het geluid zeer zeer stil zijn. We komen eindelijk in de kern van dit project: het geluidssignaal moet versterkt worden!

Inderdaad, de luidspreker heeft meer ‘schwung’ nodig om luid muziek af te spelen. Om dat te doen moeten we het **elektrisch vermogen** over de luidspreker groot houden. Het elektrisch

---

<sup>3</sup>frequentie is het aantal volledige golven (op en neer) per seconde



Figuur 7: Een microfoon vormt de luchtdruk golf (eenheid: Pascal) om in een spanningsgolf (eenheid: Volt).

vermogen dat een component verbruikt wordt berekend als volgt:

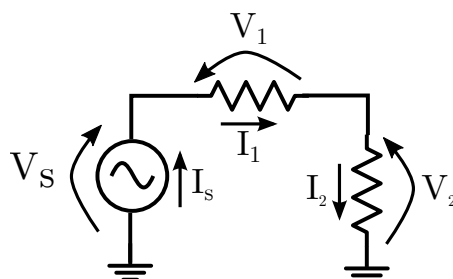
$$P = V \cdot I \quad (8)$$

met  $P$  het vermogen in Watt,  $V$  het voltage over de component en  $I$  de stroom door de component. We moeten door de luidspreker dus veel stroom en een hoge spanning aanleggen (X). Dat is net de bedoeling van een versterker.

Nu dat we weten waarom onz netwerk nuttig is, kunnen we aan de bouw van onze versterker beginnen!

### 3.2 De volumeknop: de weerstandsdeler

Zoals al eerder vermeld, is voor de rest van het elektronisch netwerk een microfoon gelijk aan een spanningsbron. Stel dat we in serie met die spanningsbron twee weerstanden schakelt (figuur 8). We gaan aantonen de spanning  $V_2$  een verkleinde versie is van het muzieksignaal  $V_s$ .



Figuur 8: Volumeregeling: de weerstandsdeler

**Doe-het-zelf:** probeer een formule te vinden voor  $V_2$  waar alleen de weerstandwaarden  $R_1$  en  $R_2$  en de spanningsbron  $V_s$  in voorkomt.

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

**3.3 De aan/uit LED: de diode**

**3.4 De versterker: de transistor**