

# 1 – Basic Analog Concepts

**Ing. Patrick Van Houtven**

**De PBA elektronica-ICT bepaalt mogelijke oplossingen en maakt onderbouwde keuzes in componenten voor elektronische en/of ICT-systemen, zowel wat hard- als software betreft.**

- Beschrijft de basisconstructie, eigenschappen en werking van de diode
- Beschrijft de basisconstructie, eigenschappen en werking van de BJT
- Beschrijft de basisconstructie, eigenschappen en werking van de FET
- Berekent de instelling van bipolaire junctie transistorschakelingen
- Berekent van de instelling van FET schakelingen
- Analyseert de frequentierespons van elektronische schakelingen
- Beschrijft de werkingsprincipes van verschillende basisopampschakelingen

**De PBA elektronica-ICT ontwerpt en ontwikkelt elektronische en/of ICT-systemen.**

- Ontwerpt een FET-schakeling
- Maakt eenvoudige analoge systemen in combinatie met een controller board

**De PBA elektronica-ICT stelt bestaande elektronische en ICT-bouwstenen samen tot een werkend hardware- of softwaresysteem.**

- Kan de karakteristieke eigenschappen van de diode opmeten
- Voert metingen uit op diodetoepassingen
- Interpreteert meetresultaten
- Stelt een transistor in
- Gebruikt een transistor als schakelaar
- Simuleert een elektronische schakeling
- Meet de eigenschappen van een elektronische schakeling op

**De PBA elektronica-ICT test elektronische en/of ICT-systemen, toetst ze aan de vooropgestelde vereisten en stuurt bij waar nodig**

- Past het frequentiegedrag van een schakeling aan

# Leerinhoud

- Diode
- Bipolaire transistoren
- Field-effect transistoren
- Frequentierespons van transistorschakelingen
- Versterkerschakelingen
- Sensoren
- Basisopampschakelingen

# Basic Analog Concepts

## Outline

- Analoge Elektronica
- Analoge Signalen
- Analoge Bronnen
- Versterkers
- Troubleshooting

## Objectives

- Bespreken van de basiskennmerken van analoge elementen
- Beschrijven van analoge signalen
- Analyse van signaalbronnen
- Verklaren van de eigenschappen van een versterker
- Beschrijven van het proces aangaande troubleshooting in een schakeling

# Introductie

- Met de invloed van computers en andere digitale apparaten bestaat het gevaar om voorbij te gaan aan het feit dat vrijwel alle natuurverschijnselen die wij meten (bijvoorbeeld druk, debiet en temperatuur) van oorsprong analoge signalen zijn.
- In de elektronica worden transducers gebruikt om deze analoge hoeveelheden om te zetten in spanning of stroom. Meestal is versterking of een andere verwerking vereist voor deze signalen.
- Afhankelijk van de toepassing, kan ofwel digitale ofwel analoge technieken efficiënter zijn voor de verwerking van de signalen.
- Analoge schakelingen worden toegepast in bijna alle voedingen en in vele "real-time" toepassingen (zoals auto-snelheidscontroles), en hoogfrequente communicatiesystemen.
- Digitale verwerking is effectiever wanneer rekenkundige bewerkingen moeten worden uitgevoerd en heeft grote voordelen in het verminderen van de ruis inherent aan de verwerking van analoge signalen.
- Kortom, de twee kanten van de elektronica (analoog en digitaal) vullen elkaar aan, en de bevoegde technicus heeft kennis nodig van beide.



# 1-1 Analoge Elektronica

## Waarom dit hoofdstuk?

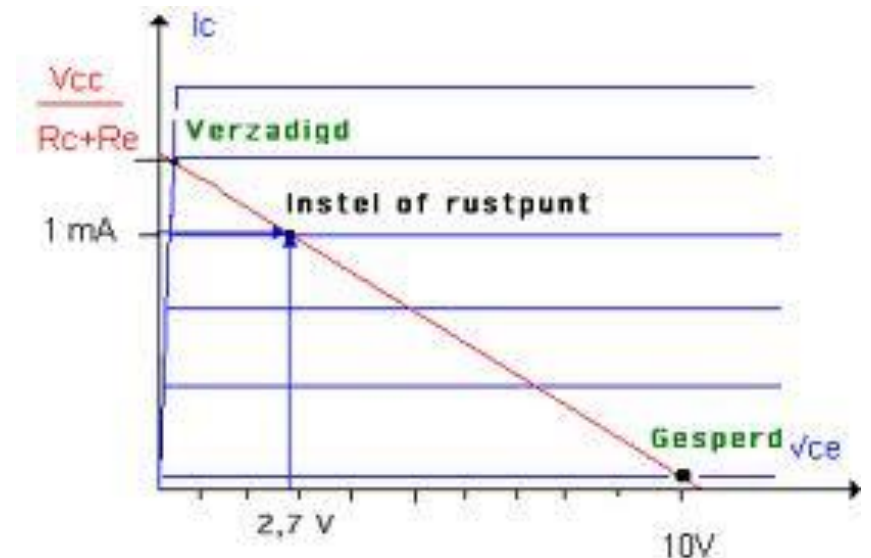
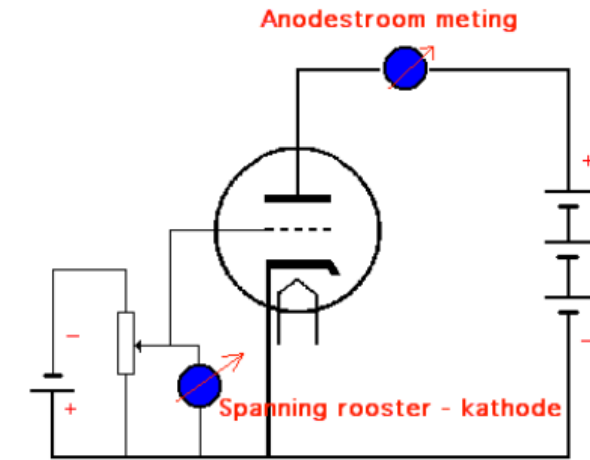
- Het gebied van elektronica kan worden onderverdeeld in verschillende categorieën voor de studie.
- De meest elementaire verdeling is deze tussen **signalen die worden vertegenwoordigd door binaire getallen** (digitaal) en **signalen die worden vertegenwoordigd door continu variabele hoeveelheden** (analoog).
- Digitale elektronica omvat alle rekenkundige en logische bewerkingen, zoals uitgevoerd in computers en rekenmachines.
- Analoge elektronica omvat vrijwel alle andere (niet digitale) signalen. Analoge elektronica bevat signaalverwerkende functies zoals versterking, differentiatie en integratie.
- Tegenwoordig is bijna alle informatie -audio, video en data- gedigitaliseerd voor transmissie, en sommige soorten signaalverwerking. Maar het is ook waar dat we niet direct kunnen communiceren met de digitale wereld. Wij zijn analoge machines en analoge apparaten blijven een belangrijke rol spelen in de moderne elektronica.

## Wat onthoud je best?

- De basiskennmerken van analoge elektronica bespreken
- Een vergelijking maken aangaande de verschillen tussen een karakteristiek voor een lineaire component met die van een niet-lineaire component
- Uitleggen wat bedoeld wordt met een karakteristiek (characteristic curve)
- Het verschil verklaren tussen een DC-en AC- weerstand.
- Het verschil verklaren tussen conventionele stroomzin en elektronenstroom.

# 1-1 Analoge Elektronica

- De moderne elektronica had zijn intrede in 1907 toen Lee deForest voor het eerst een metalen rooster inbracht in een vacuüm buis. Hiermee was hij in staat om de stroom te controleren in een circuit.
- Vandaag controleren elektronische systemen nog steeds de stromen en spanningen, maar maken gebruik van solid-state-apparaten.
- De kenmerken van elektronische basiscomponenten, zoals weerstanden en diodes, kunnen worden weergegeven in grafieken die de kenmerken vertonen in een meer intuïtieve manier dan de wiskundige vergelijkingen die hun gedrag beschrijven.
- In deze sectie bespreken we grafieken die bruikbaar zijn bij weerstanden en diodes.
- Bij transistor en FET zal je zien hoe door toevoeging van een bedieningselement (zoals het rooster in de vacuüm buis) kan weergegeven worden in de grafieken om een grafische afbeelding van het circuit in werking te garanderen.



# 1-1 Analoge Elektronica

## Lineaire vergelijkingen

- In algebra is een lineaire vergelijking een vergelijking dat een rechte weergeeft tussen 2 variabelen in de vorm van :  $y = mx + c$ 
  - $y$ : de afhankelijke variabele
  - $x$ : de onafhankelijke variabele
  - $m$ : de richtingscoëfficiënt (slope)
  - $c$ : het snijpunt met de Y-as
- Als de rechte die de vergelijking weergeeft door de oorsprong van het assenstelsel gaat ( $c = 0$ ), dan kan de vergelijking omgevormd worden tot :  $y = mx$ 
  - Dit is analoog als de wet van Ohm:  $I = \frac{U}{R}$  (1-1)
  - Vervangen we de weerstand  $R$  hierin door geleiding  $G$  dan bekomen we  $I = G \cdot U$
- Een lineaire component is een component waarbij een stijging van de stroom evenredig is met de spanning die er over staat (zoals gegeven door de wet van Ohm)
- Een grafiek die de relatie weergeeft tussen twee variabele grootheden van een component definieert een karakteristiek (characteristic curve) van deze component.
- Voor de meeste elektronische componenten verwijst deze karakteristiek naar een stroom-spanningskarakteristiek waarbij de stroom in functie van de aangelegde spanning wordt weergegeven (zie figuur 1-1)

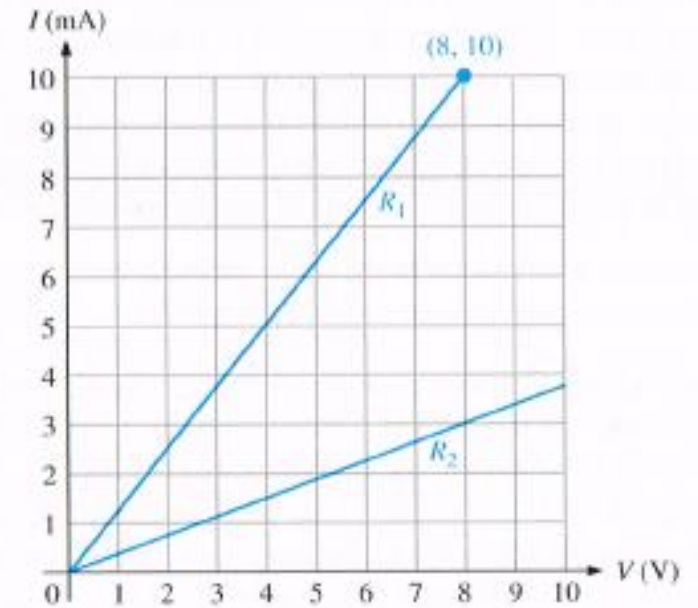


FIGURE 1-1 IV characteristic curve for two resistors.

# 1-1 Analoge Elektronica

## Voorbeeld 1-1

Figuur 1-1 toont de  $IU$ -karakteristiek van twee weerstanden. Wat is de geleiding en weerstandswaarde van de weerstand  $R_1$ ?

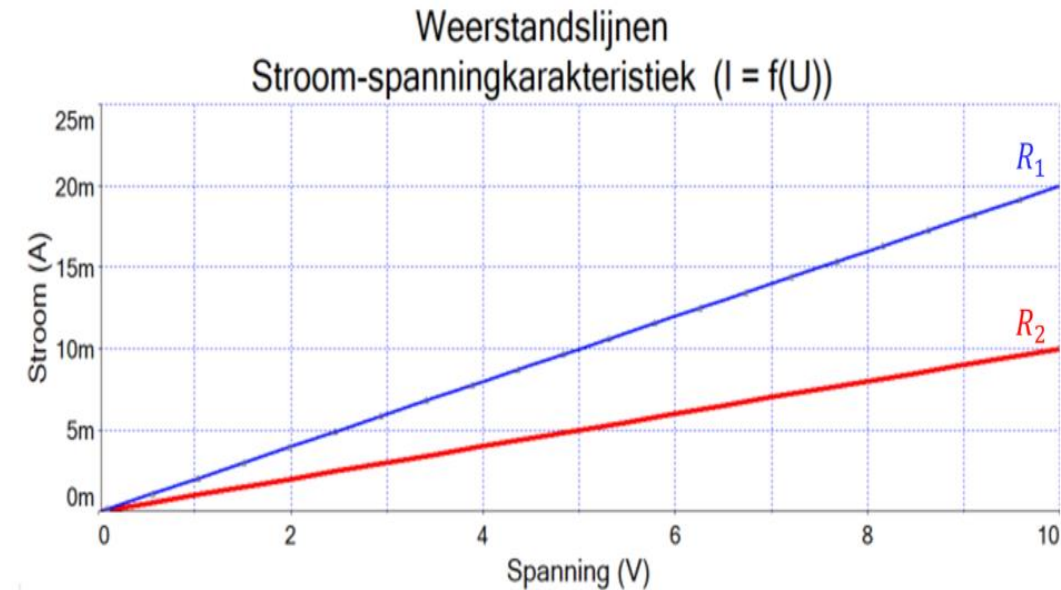
## Oplossing

De algemene formule voor een rechte is  $y = mx + c$ . De rechten gaan door de oorsprong bijgevolg is  $c = 0$ . De geleiding kan gevonden worden door de richtingscoëfficiënt te bepalen van de rechte die  $R_1$  voorstelt. Deze is als volgt te vinden:

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{20 \text{ mA} - 0 \text{ mA}}{10 \text{ V} - 0 \text{ V}} = 0,002 \text{ S} = 2 \text{ mS}$$

De richtingscoëfficiënt  $m$  stelt de geleiding  $G$  voor van de weerstand  $R_1$ . De weerstandswaarde  $R_1$  is dan gelijk aan:

$$R = \frac{1}{G} = \frac{1}{2 \text{ mS}} = 500 \Omega$$



# 1-1 Analoge Elektronica

## AC-weerstand (blz.3)

### Begrip DC-weerstand

- DC-weerstand stelt een rechte lijn voor in de  $IU$ -karakteristiek. De richtingscoëfficiënt van de rechte (slope) is constant en stelt de geleiding van de weerstand voor. Het omgekeerde van de richtingscoëfficiënt stelt de weerstand voor.
- De verhouding van de spanning op een bepaald punt ten opzichte van de overeenstemmende stroom in dat punt wordt DC-weerstand genoemd. DC-weerstand is gedefinieerd door de wet van Ohm :  $R = U/I$

- $R_{DC} = \frac{U}{I}$

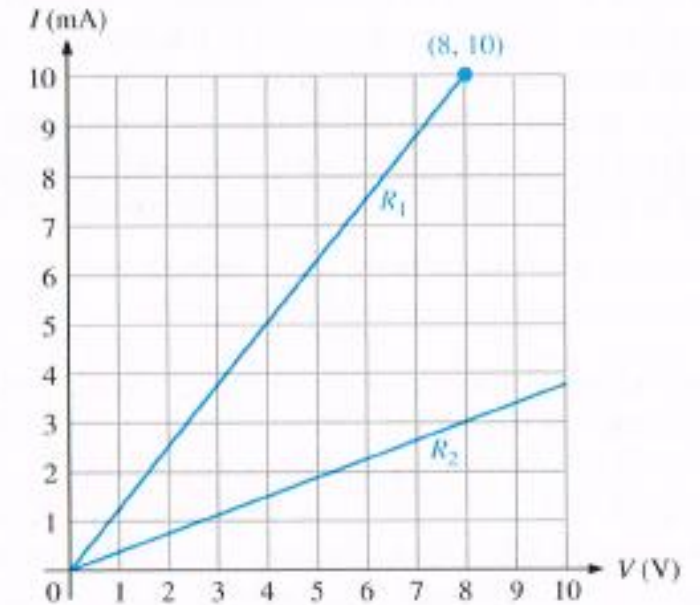


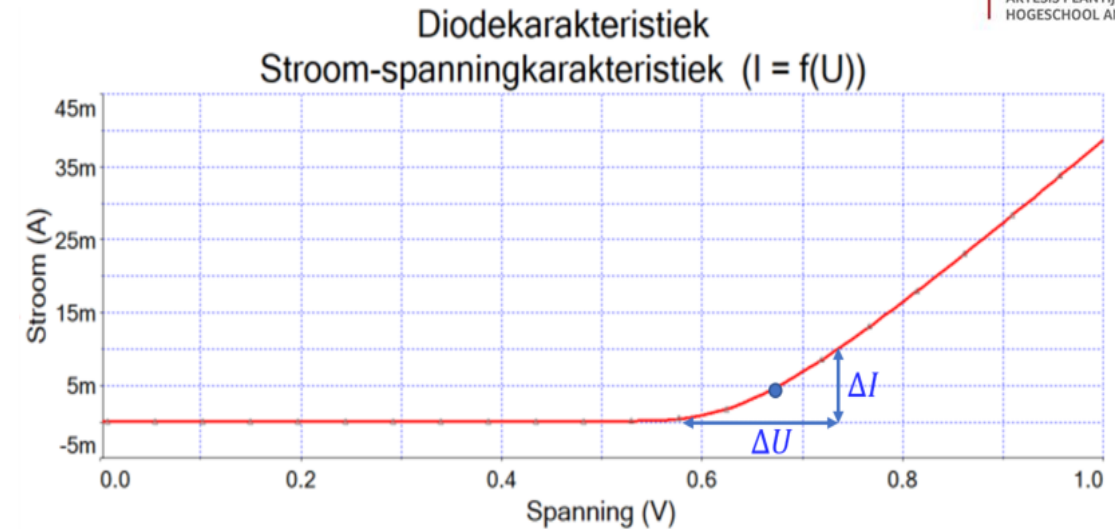
FIGURE 1-1 IV characteristic curve for two resistors.

# 1-1 Analoge Elektronica)

## Begrip AC-weerstand

- Veel componenten hebben een curve die niet lineair is (bv een diode zie fig. 1-2). De weerstand van een niet-lineaire component wordt gedefinieerd als een kleine verandering van de spanning ten opzichte van een kleine stroomverandering. Dus: AC-weerstand =  $\Delta U / \Delta I$
- $r_{ac} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$
- De interne weerstand (ac-weerstand) wordt ook dynamische weerstand of small signal- of bulk-weerstand genoemd van de desbetreffende component.
- De AC-weerstand is afhankelijk van het specifiek punt dat in de  $IU$ - karakteristiek gebruikt wordt om de weerstand te bepalen
- In figuur 1-2 varieert de helling sterk. Dit houdt in dat het punt waarbij de AC-weerstand wordt gemeten gespecificeerd moet worden.
- Bijvoorbeeld de ac-weerstand in het punt  $x=0,6V$  en  $y=2mA$  kan gevonden worden door rond dit punt een klein gebied af te baken waarbij de spanning en stroom wordt opgemeten. Dit is voorgesteld door de driehoek in figuur (1-2) De AC-weerstand wordt dan gevonden door de verhouding te nemen van de spanningsverandering ten opzichte van de stroomverandering.
- De stroomverandering is  $3,4 mA - 1,2 mA = 2,2 mA$  en de spanningsverandering is  $0,66 V - 0,54 V = 0,12 V \Rightarrow$  geleiding in dit punt =  $\Delta I / \Delta U = 2,2mA/0,12V = 18,3 mS$ :

$$r_{ac} = \frac{1}{g} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0,66V - 0,54V}{3,4mA - 1,2mA} = 54,4\Omega$$

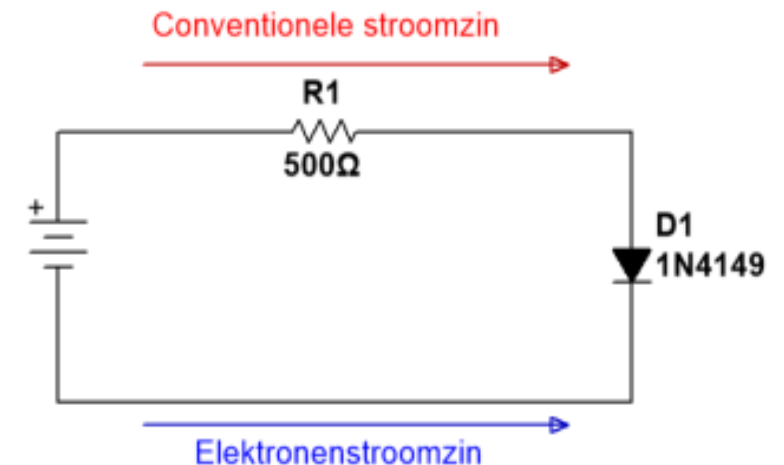
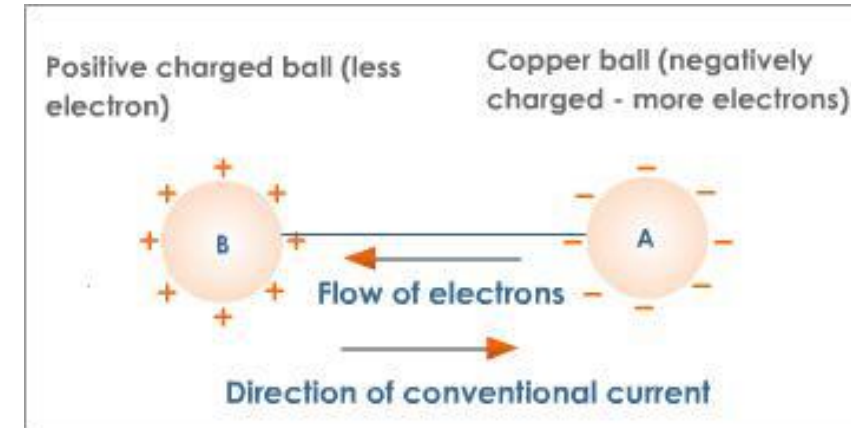




# 1-1 Analoge Elektronica

## Conventionele stroomzin versus elektronenstroomzin (blz 4)

- Stroom is de verhouding van ladingsverplaatsing per tijdseenheid.
- De originele definitie van stroom was gebaseerd op Benjamin Franklin's geloof dat elektriciteit een onzichtbare substantie was dat zich verplaatste van de positieve pool naar de negatieve pool van een bron. Deze definitie werd algemeen overgenomen en in veel boeken is de stroomzin weergegeven vanuit dit gezichtspunt.
- Vandaag weet men dat elektrische stroom van de negatieve pool naar de positieve pool vloeit. Hierdoor wordt in sommige boeken de stroomzin aangeduid van negatief naar positief.
- De controverse of het nu beter is de stroomzin in de ene zin dan wel in de andere zin weer te geven is een discussie die al jaren aan de gang is. In feite is het niet belangrijk in welke richting de stroomzin is weergegeven op een figuur. Komt men een negatieve stroomwaarde uit dan weet men dat de stroom in de andere richting vloeit.
- Let wet op, in de praktijk is er maar één juiste manier om de stroommeter aan te sluiten in een stroomkring voor stroommetingen. In het verloop van de cursus wordt de polariteit van de stroommeters aangegeven waar dit noodzakelijk is.



- **Section 1-1 checkup**

1. Wat is een characteristic curve (karakteristiek) voor een component?
2. Hoe ziet de karakteristiek van een weerstand met een hogere weerstandswaarde eruit ten opzichte van een weerstand met een lagere weerstandswaarde?
3. Wat is het verschil tussen DC-weerstand en AC-weerstand?





# 1-2 Analoge signalen (blz. 5)

## Waarom dit hoofdstuk?

- Een signaal is eender welke fysische hoeveelheid dat bepaalde informatie draagt.
- In elektronica verwijst de term signaal naar de informatie die gedragen wordt door elektrische golven, zowel in een geleider als door een elektrisch veld

## Wat onthoud je best?

- De vergelijking van een analoog signaal met een digitaal signaal
- De definities van sampling en kwantisatie (quantizing)

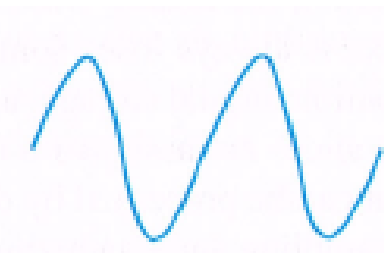
# 1-2 Analoge signalen

## Analoge en digitale signalen (blz. 5)

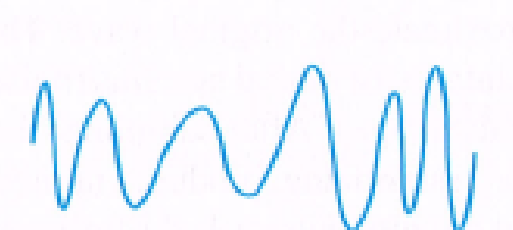
- Signalen kunnen onderverdeeld worden in continu of discreet
  - Een continu signaal verandert geleidelijk aan zonder onderbreking
  - Een discreet signaal bestaat enkel uit bepaalde waarden
- De termen continu of discreet kunnen slaan op de amplitude van het signaal of op de tijdcarakteristiek van het signaal

### System note

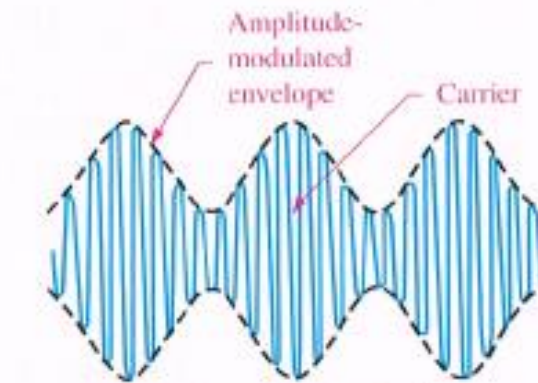
- Een analoge signaal kan een herhalende golfvorm zijn als een sinusgolf. Een analoog signaal kan ook een continu variërend audiosignaal zijn dat informatie bevat (bv muziek, gesproken woord, bepaalde geluiden, ..)
- Ander voorbeeld van een analoog signaal is een amplitude gemoduleerd signaal (AM) en een frequentie gemoduleerd signaal (FM)
- In AM varieert bepaalde laagfrequent informatie (zoals een stem of muziek) de amplitude van een hoogfrequent sinusoïde. Bij FM varieert de laagfrequent informatie de frequentie van een hoogfrequent sinusoïde.



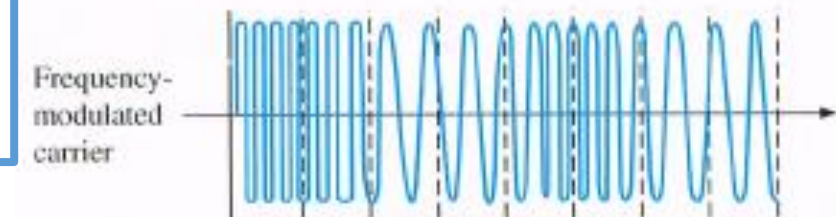
(a) Sine wave



(b) Audio



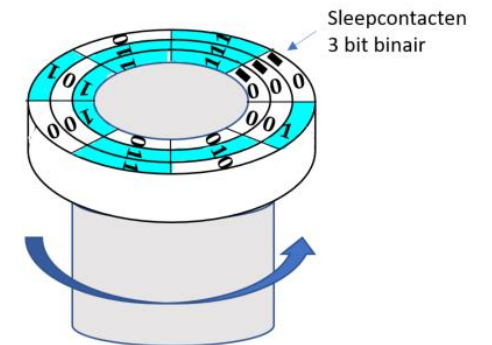
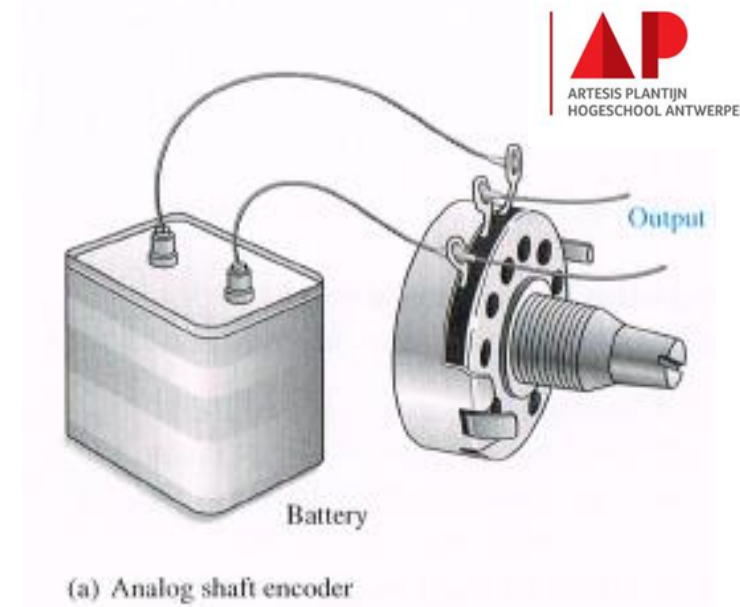
(c) Amplitude-modulated signal



(d) Frequency-modulated signal

# 1-2 Analoge signalen

- In de natuur bevatten de meeste signalen een continu bereik van waarden tussen bepaalde grenzen. Zulke signalen worden aangeduid als **analoge signalen**.
- Stel bv een potentiometer dat gebruikt wordt als een as-decoder (fig. 1-3a) De uitgangsspanning kan continu worden gevarieerd binnen de grenzen van de voedingsspanning. De exacte waarde van de uitgangsspanning is in verhouding met de verdraaide positie van de as.
- Langs de andere kant: een bepaald type encoder heeft een aantal stappen (fig. 1-3b). Als getallen worden geassocieerd met deze stappen bekomen we een digitaal signaal.
- Analoge signalen zijn relatief eenvoudig, hebben een hoge snelheid en lage kost. Ze kunnen gemakkelijk natuurlijke fenomenen simuleren
  - Worden vaak gebruikt voor volgende activiteiten: uitvoeren van het lineariseren van functies, waveshaping, transformeren spanning naar stroom of stroom naar spanning en het vermenigvuldigen en/of mengen van signalen
- Digitale schakelingen hebben een hoge ruis immuniteit, geen drift en het vermogen om snel te verwerken en snel diverse berekeningen uit te voeren
- In veel elektronische systemen is er een combinatie van analoge en digitale signalen nodig om de prestaties van het gehele systeem of de kosten ervan te optimaliseren.

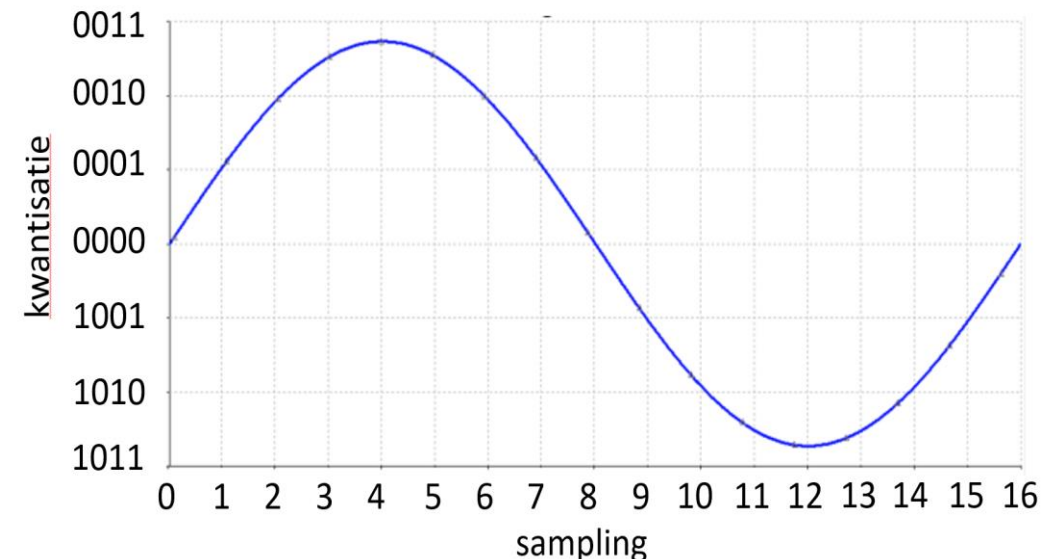


# 1-2 Analoge signalen

- Veel signalen hebben hun oorsprong in natuurlijke fenomenen; denk bv. aan druk- of temperatuurmetingen.
- Transducer outputs zijn typisch analoog in vorm. Denk aan een microfoon dat een klein analoog signaal genereert en wordt versterkt via een versterker. Dikwijls wordt het analoog signaal omgevormd naar een digitaal signaal om storing te vermijden, verder te verwerken of te verzenden.
- Omvorming van analoog naar digitaal wordt uitgevoerd als een proces in twee stappen. Sampling en kwantisatie (quantisation)
  - Sampling is het proces waarmee het analoog signaal wordt onderverdeeld in zogenaamde “time-slices” welke het originele signaal benadert. Gedurende dit proces wordt steeds wat informatie verloren. Dit weegt niet op tegen de voordelen aangaande ruisreductie, digitaal kunnen bewaren of gemakkelijk kunnen verzenden. Na sampling krijgen de “time-slices” een bepaalde numerieke waarde.
  - Kwantisatie (quantizing) zet de amplitudes van de time-slices om in getallen die verwerkt kunnen worden door digitale computers en/of andere digitale systemen.
- Figuur 1-4 toont het sampling en kwantisatieproces

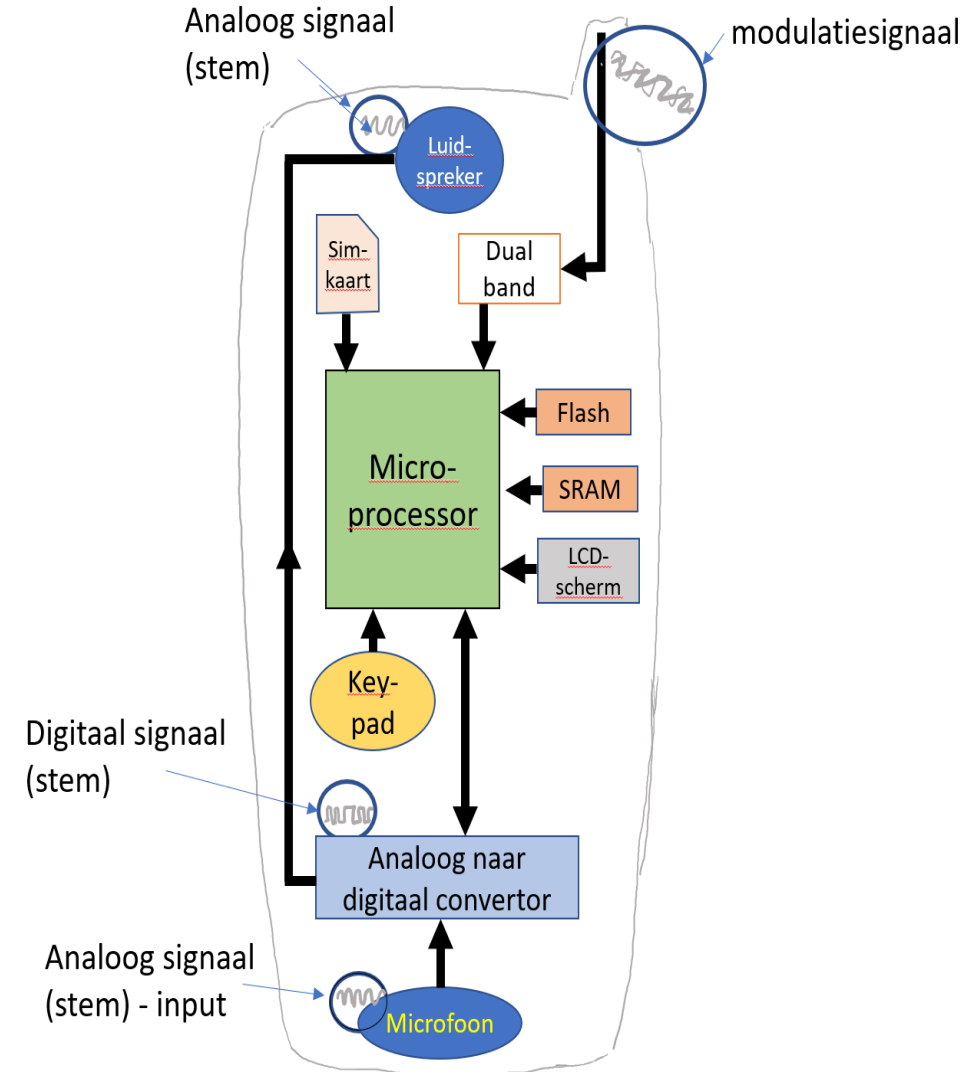
***Meestal moeten digitale signalen terug geconverteerd worden in het originele analoge signaal om bruikbaar te zijn.***

***Denk aan gedigitaliseerd geluid op een CD dat terug naar een analoog signaal moet worden geconverteerd om aan een luidspreker aan te leggen.***



# 1-2 Analoge signalen

- GSM is een voorbeeld van een systeem dat zowel analoge als digitale signalen bevat.
- Microfoon vangt het stemgeluid op en zet het om in een analoog signaal. Dit analoog signaal wordt geconverteerd naar een digitaal signaal en wordt vervolgens gemoduleerd op een analoge RF-draag golf. Vandaar wordt het verzonden naar een GSM-mast.
- Wanneer de GSM een inkomend signaal ontvangt van de GSM-mast, ontvangt het digitale informatie die gemoduleerd is op een analoge draaggolf. Dit signaal wordt versterkt door een ruisarme versterker (LNA – Low Noise Amplifier) en vervolgens down-converted naar een lagere analoge draaggolffrequentie. De digitale voicedata wordt dan gedemoduleerd en terug omgevormd naar een analoog signaal dat door een audio vermogenversterker naar de luidspreker wordt gestuurd.



# 1-2 Analoge signalen

## Analoge systemen

Een analoog systeem verwerkt data enkel in analoge vorm.

- Voorbeeld: PA-systeem (Public Address) gebruikt om geluid te versterken

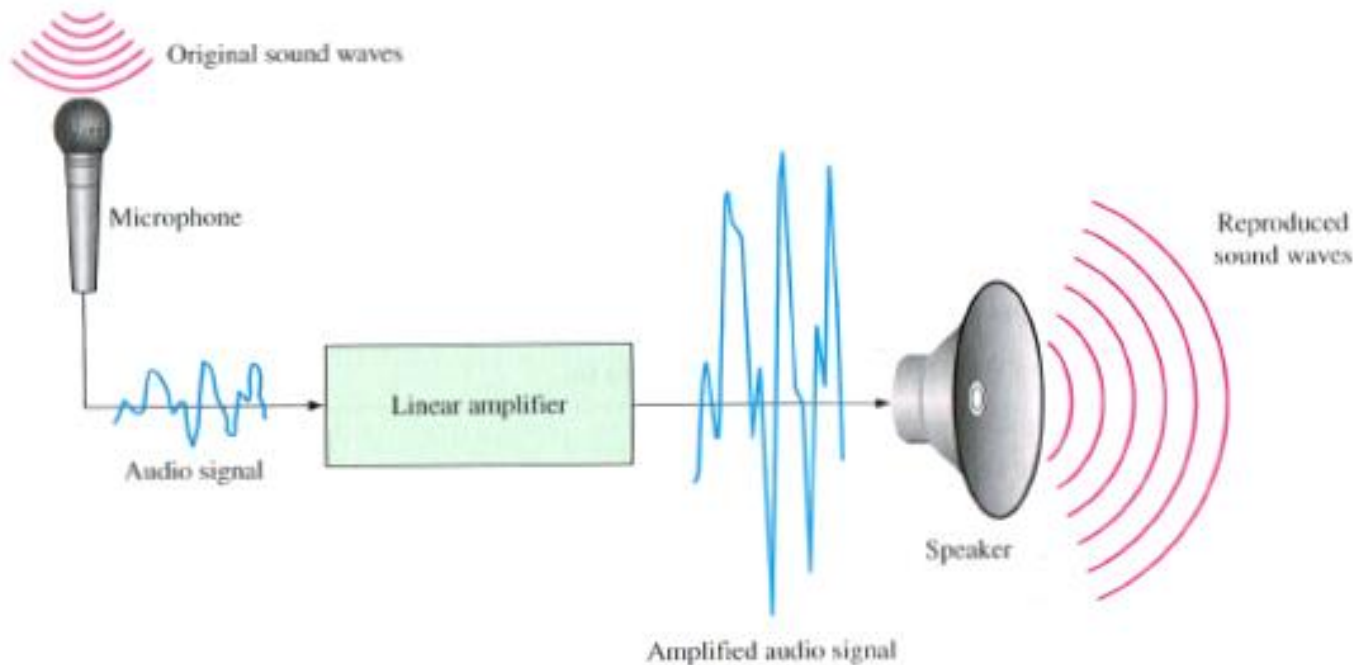


FIGURE SET-1 A basic audio public address system.

De spanning varieert continu vermits het geluidsvolume en de frequentie van het audiosignaal voortdurend verandert, en toegevoegd wordt (via een microfoon) aan de ingang van een analoge versterker. De uitgang van de versterker is het versterkte analoog signaal dat aan een luidspreker wordt aangelegd



# 1-2 Analoge signalen

## Analoge systemen (blz. 12)

- Ander voorbeeld: FM-ontvanger

Systeem verwerkt het binnenkomend FM-signaal. De frequentie van de draaggolf (carrier) wordt omlaag getransformeerd waarna het audio-signaal uit de variërende frequenties wordt gehaald. Dit signaal wordt verder versterkt en via de luidspreker hoorbaar gemaakt.

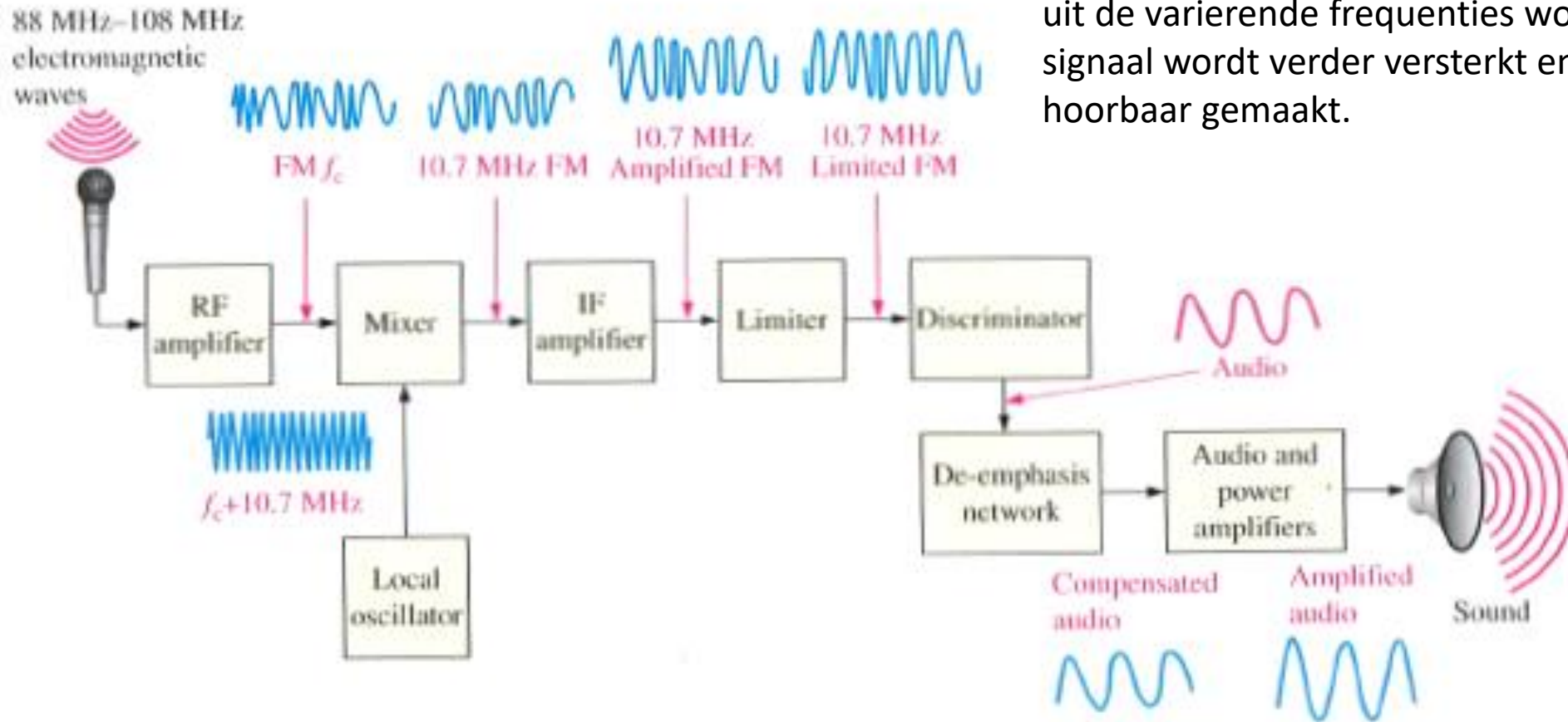


FIGURE SE1-2 Block diagram of superheterodyne FM receiver.

# 1-2 Analoge signalen

- **Section 1-2 checkup**

1. Wat is het verschil tussen een analoog signaal en een digitaal signaal?





# 1-3 Signaalbronnen(blz. 9)

## Waarom dit hoofdstuk?

- Theorema van Thevenin laat toe om een gecompliceerd circuit te vervangen door een spanningsbron en een serieweerstand.
- Zo bestaat er ook een theorema van Norton waarbij een circuit vervangen kan worden door een weerstand parallel met een stroombron.
- Deze theorema's maken het mogelijk om schakelingen te vereenvoudigen en alzo de analyse van veel circuits te vereenvoudigen en begrijpbaar te maken

## Wat onthoud je best?

- De definitie van twee onafhankelijke bronnen.
- Hoe je de belastingslijn voor een Thevenincircuit kan tekenen.
- Wat de betekenis is van een werkpunt (Q-point)
- De verklaring hoe een passieve transducer kan voorgesteld worden met een Thevenin equivalent circuit.

# 1-3 Signaalbronnen

## Onafhankelijke bronnen

- Een signaalbron kan zowel een spanning- als een stroombron zijn en zowel DC als AC leveren.
- Een ideale onafhankelijke spanningsbron levert een spanning onafhankelijk van de belastingsstroom.
- Een ideale onafhankelijke stroombron levert een stroom in de belasting die onafhankelijk is van de spanning over deze belasting.
- De waarde van een ideaal onafhankelijke bron kan vastgelegd worden zonder te kijken naar eender welke andere circuitparameter.
- In realiteit kan een ideale bron niet worden verwezenlijkt, maar in een aantal gevallen wel dicht benadert worden. (Vb. gestabiliseerde spanningsbron)
- Actuele bronnen kunnen voorgesteld worden als bestaande uit een ideale spanningsbron en een weerstand (of andere passieve component in het geval van AC-bronnen).

## Theorema van Thevenin

- Theveninspanning  $U_{TH}$  is de open circuitspanning zonder aangesloten belasting van het originele circuit
- De Theveninweerstand  $R_{TH}$  is de weerstand gezien vanaf de output-terminals van het originele circuit waarbij de spannings- en stroombronnen in het circuit vervangen zijn door hun inwendige weerstand (in het geval ze niet ideaal kunnen worden verondersteld)



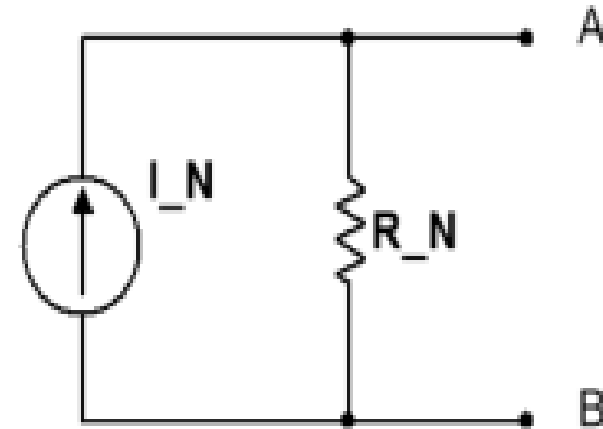
FIGURE 1-9 Thevenin's equivalent for a dc circuit.

# 1-3 Signaalbronnen

- Het Theorema van Thevenin is een nuttige manier om lineaire circuitelementen te vervangen door een equivalente schakeling die kan worden gebruikt voor onderzoek van de invloed van diverse belastingen op het circuit.
- De eis dat de te vervangen elementen door een Thevenin circuit lineair moeten zijn, plaatsen enkele beperkingen op het gebruik van dit Theorema. Desondanks, als de te vervangen schakeling ongeveer lineair is, is Thevenin's Theorema nuttig om te gebruiken. Dit is het geval voor veel versterkercircuits die we later zullen onderzoeken.

## Norton's Theorema

- Het Theorema van Norton gebruikt een parallelweerstand en een stroombron als equivalent schema. (zie fig 1-11)
- De Nortonweerstand is dezelfde als de Theveninweerstand.
- De grootte van de stroombron wordt bepaald door de belastingsweerstand te vervangen door een kortsluiting en de stroom door deze kortsluiting te bepalen.



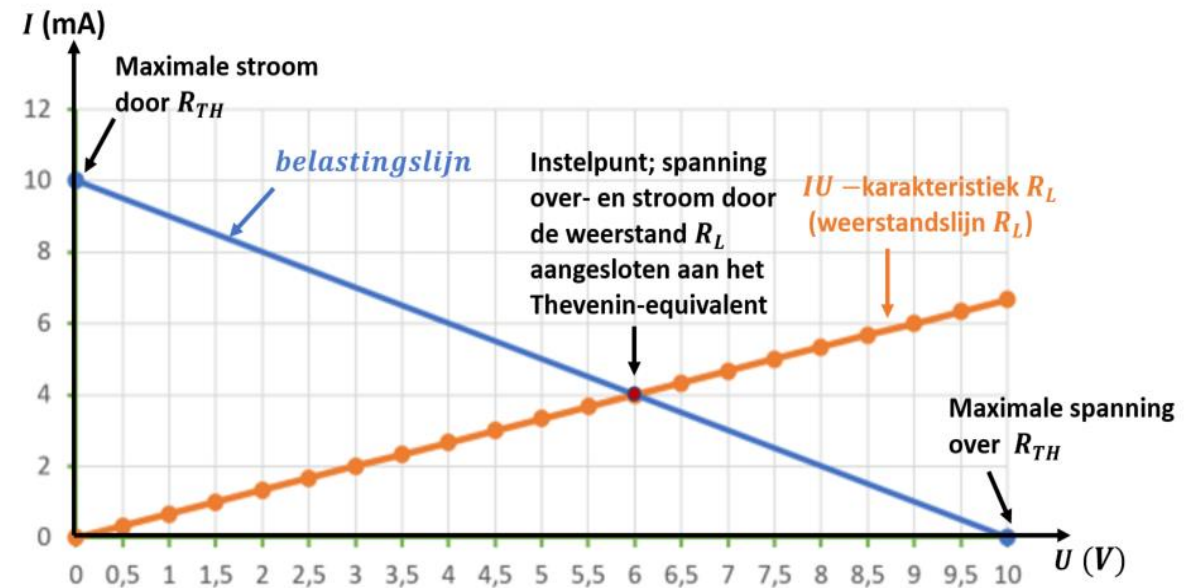
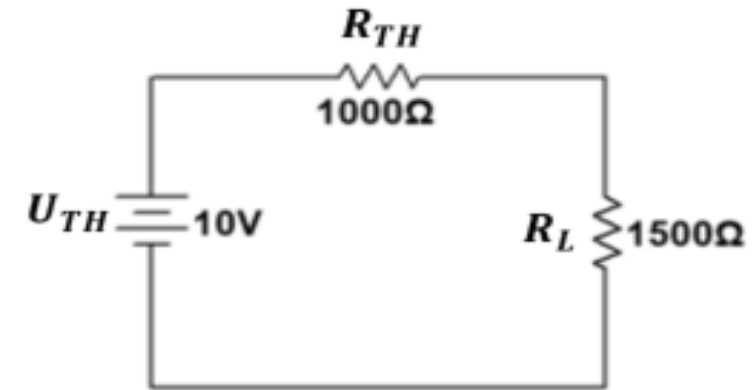
# 1-3 Signaalbronnen

## Belastingslijn (Load Lines) (blz. 10)

- Stel een lineair circuit met een Thevenin
- Laten we nagaan wat er gebeurt als er verschillende belastingen worden aangesloten aan dit circuit.
- Veronderstel eerst dat de belasting een weerstand is van  $0\ \Omega$  => enkel  $R_{TH}$  in het circuit

$$I_L = \frac{U_{TH}}{R_{TH}} = \frac{10\text{ V}}{1.0\text{ k}\Omega} = 10\text{ mA}$$

- Dit is het punt waardoor er de maximale stroom vloeit door aangesloten belasting.
- Stel nu dat de belasting gelijk is aan oneindig. De stroom door de belasting is dan gelijk aan  $0\text{ A}$  en de spanning over de belasting gelijk aan de Theveninspanning ( $10\text{V}$ ).
- Dit is het punt waarover de maximale spanning staat over de belasting.
- Tussen deze twee punten kunnen we nu een lijn trekken. Deze lijn is de **belastingslijn** voor de (Thevenin) schakeling en geeft alle mogelijke instelpunten weer van spanning en stroom aan zijn uitgang. Aangezien de belastingslijn een rechte is, is het voldoende om de 2 voornoemde punten te bepalen.



# 1-3 Signaalbronnen

- Beschouwen we verschillende belastingen zoals in onderstaande tabel is weergegeven.
- De spanning- en stroomwaarden van de aangesloten  $R_L$  aan het circuit liggen op de belastinglijn.
- Vb:  $R_L = 250 \Omega \Rightarrow V_{RL} = 2V$  ( $10V \cdot 250 \Omega / (1000 \Omega + 250 \Omega)$ ) en  $I_{RL} = 8 \text{ mA}$  ( $10V/1250 \Omega$ )

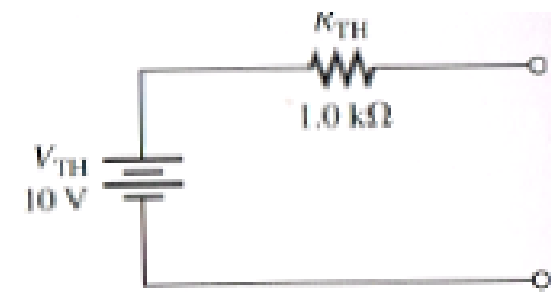


FIGURE 1-13

TABLE 1-1 • Various load conditions for the circuit in Figure 1-13.		
$R_L$	$V_L$	$I_L$
$0 \Omega$	0.0 V	10.0 mA
$250 \Omega$	2.00 V	8.00 mA
$500 \Omega$	3.33 V	6.67 mA
$750 \Omega$	4.29 V	5.72 mA
$1.0 \text{ k}\Omega$	5.00 V	5.00 mA
$2.0 \text{ k}\Omega$	6.67 V	3.33 mA
$4.0 \text{ k}\Omega$	8.00 V	2.00 mA
open	10.0 V	0.00 mA

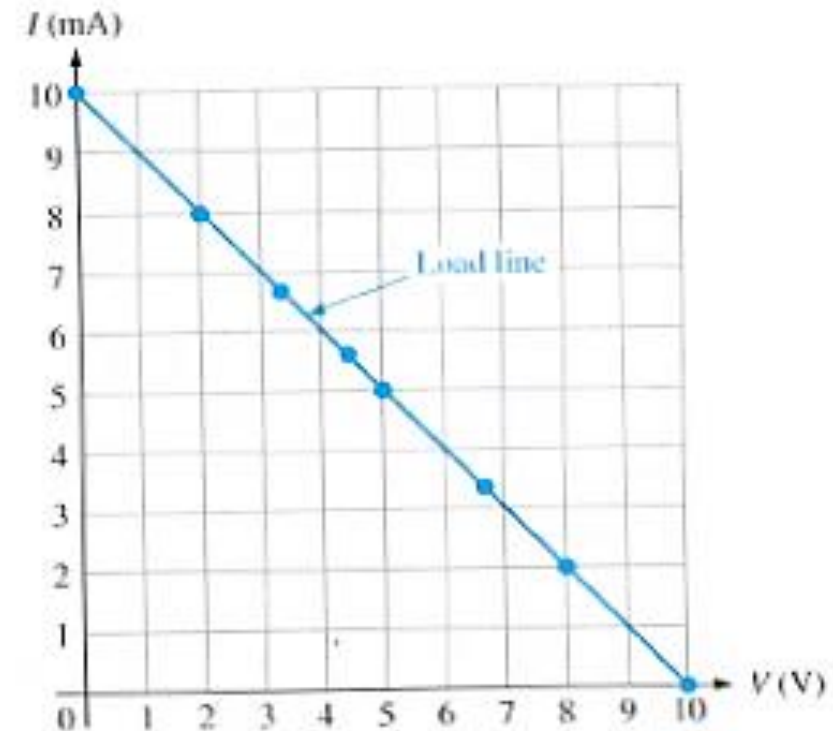
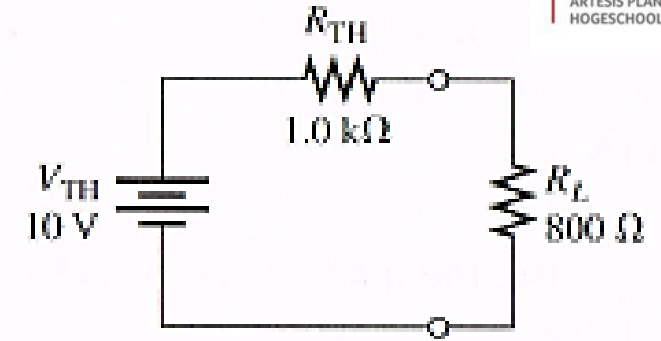


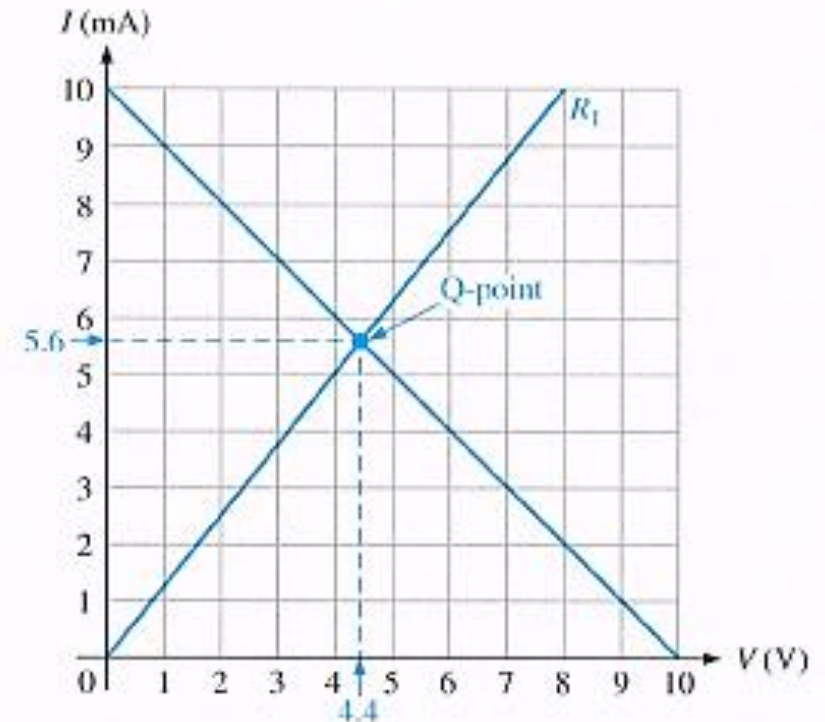
FIGURE 1-14 Load line for the circuit in Figure 1-13.

# 1-3 Signaalbronnen

- Een component heeft zijn eigen karakteristiek die beschreven kan worden in de  $IU$ -karakteristiek. Deze curve geeft alle mogelijke instelpunten van de specifieke component in de schakeling.
- Aangezien de belastingslijn alle mogelijke instelpunten bevat van de schakeling, zal het snijpunt van deze twee lijnen het werkpunt zijn (operating point Q) waarop de component is ingesteld.
- Stel dat als belasting een weerstand van  $800\ \Omega$  wordt aangesloten. Het snijpunt van de belastingslijn met de weerstandslijn geeft het instelpunt van deze weerstand in de schakeling weer. De bijbehorende stroom en spanning aan dit punt zijn de stroom die door deze weerstand gaat en de spanning die er over staat.
- Controle:
  - Stroom door weerstand  $800\ \Omega = 10\ \text{V} / (1000\ \Omega + 800\ \Omega) = 5,55\ \text{mA}$
  - Spanning over de weerstand van  $800\ \Omega = 5,55\ \text{mA} \cdot 800\ \Omega = 4,44\ \text{V}$
- Dit concept is ook toepasbaar is bij transistoren en andere componenten.



(a)



(b)

# 1-3 Signaalbronnen

## Transducers

- **Doel transducer:** de fysische grootheid (bv temperatuur, druk, ...) omvormen tot een vorm dat bruikbaar is voor een elektronisch systeem.
- Het signaal van een transducer is meestal klein en vereist versterking vooraleer het bruikbaar is voor verdere verwerking.
- Meestal wordt het signaal omgevormd tot een spanning, stroom of weerstand. In hoofdstuk 15 vind je meer over transducers.
- **Passieve transducers** zoals rekstrookjes vereisen een afzonderlijke bron van elektrisch vermogen (excitation genoemd) om te kunnen werken.
- **Actieve transducers** zijn zelf genererende devices die een klein gedeelte van de te meten fysische grootheid omtransformeren in een elektrisch signaal. Voorbeeld hiervan zijn thermocouplers.
- Zowel passieve- als actieve transducers **kunnen via een Thevenin- of Norton-equivalent worden voorgesteld** voor verdere analyse.
  - Als de equivalente weerstand groot is wordt meestal Norton toegepast vermits het circuit een ideale stroombron benadert.
  - Bv. Een pH-meter heeft een hoge uitgangsweerstand. Hierdoor is een versterker met een hoge ingangsimpedantie nodig. Daarnaast spelen de aanwezigheid van ruis, de frequentieresponse van het systeem een rol in de keuze van de versterker.



# 1-3 Signaalbronnen

## Voorbeeld:

Een piëzo-elektrisch kristal wordt gebruikt in een trillingsmonitor. Stel dat als er geen belasting is aangesloten de output van de transducer gelijk is aan  $60\text{ mV}_{eff}$  sinusgolf. Stel dat een technicus een oscilloscoop aansluit over de uitgang van deze transducer. De ingansimpedantie van de oscilloscoop bedraagt  $10\text{ M}\Omega$  en op de oscilloscoop wordt een spanning waargenomen van  $40\text{ mV}_{eff}$ .

Gevraagd :

Aan de hand van deze waarnemingen, teken het Thevenin-equivalent schema van de trillingsmonitor.

## Oplossing :

De spanning die aan de uitgang verschijnt zonder dat een belasting is aangesloten, is de Theveninspanning  $U_{TH}$ . Dit betekent dat  $U_{TH} = 60\text{ mV}_{eff}$

De impedantie van de oscilloscoop kan aanzien worden als de belasting van het Thevenin-equivalent. Via de formule van de spanningsdeler kan de Thevenin-weerstand bepaald worden:

$$U_{RL} = \frac{R_L}{R_L + R_{TH}} \times U_{TH}$$

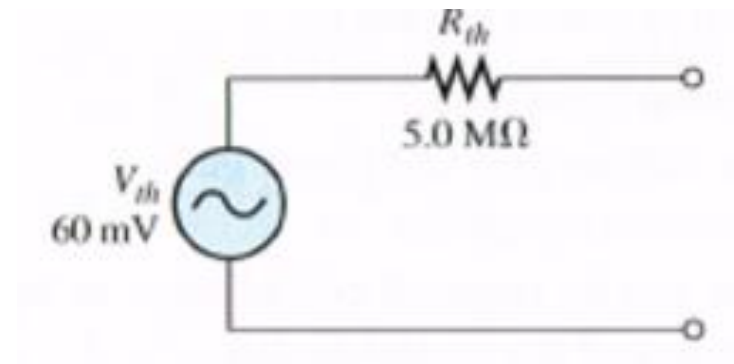
Deze vergelijking oplossen naar  $R_{TH}$  levert :

$$\frac{R_L + R_{TH}}{R_L} = \frac{U_{TH}}{U_{RL}}$$

Of na verdere uitwerking :

$$R_{TH} = R_L \left( \frac{U_{TH}}{U_{RL}} - 1 \right) = 10\text{ M}\Omega \left( \frac{60\text{ mV}}{40\text{ mV}} - 1 \right) = 5\text{ M}\Omega$$

Het equivalent schema is gelijk aan :





# 1-3 Signaalbronnen

- **Section 1-3 checkup**

1. Wat is een onafhankelijke bron?
2. Wat is het verschil tussen een passieve en actieve transducer?



# 1-4 Versterkers (blz. 20)

## Waarom dit hoofdstuk?

- Meeste signalen vereisen versterking vooraleer ze verder verwerkt kunnen worden.
- Versterking houdt in dat de magnitude vergroot wordt van een signaal en is één van de belangrijkste operaties in de elektronica.
- Andere operaties in het veld van lineaire elektronica zijn signaalgeneratie (oscillators), waveshaping, frequentieconversie, modulatie, enz...
- Veel elektronische circuits bevatten een combinatie van digitale en lineaire elektronica. Hierbij zitten heel veel interfacing circuits die omzettingen doen van analoog naar digitaal of omgekeerd.

## Wat onthoud je best?

- De vergelijking voor spaningsversterking en vermogenversterking
- De transfertcurve van een versterker
- Hoe een versterker kan voorgesteld worden als een Thevenin of Norton equivalent circuit om de lineaire ingangscircuit of uitgangscircuit voor te stellen.
- Hoe je een versterker kan vormen via cascading van trappen (stages)
- Hoe je het belastingeffect bepaalt van een versterkertrap op een andere.
- Hoe je het logaritme of antilog van een gegeven getal kan berekenen met een rekenmachine.
- Hoe je een spannings- en vermogenversterking in decibel kan omzetten.

## Lineaire versterkers

Lineaire versterkers zorgen voor een versterkt replica van het ingangssignaal om zodoende een voldoende signaal te bekomen (bv. voor aansturen van een luidspreker)

- **Concept ideale versterker:** geen ruistoevoeging of vervorming (distortie) van het signaal; de output varieert in de tijd en is een exacte (grotere) replica van de ingang.
- Meestal ontworpen om spanning of vermogen te versterken.
  - Spanningsversterking :

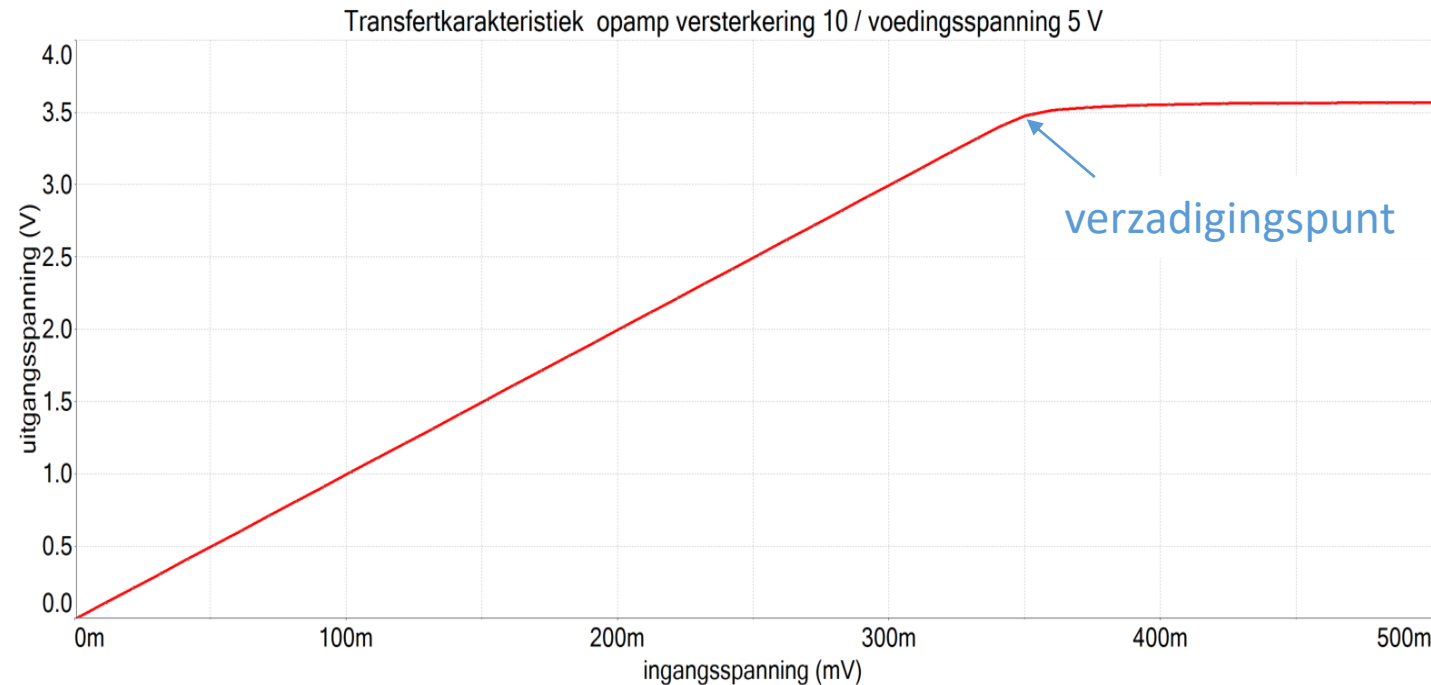
$$A_u = \frac{U_{uit}}{U_{in}}$$

- Met:
  - $A_u$  = spanningsversterking (voltage gain)
  - $U_{uit}$  = spanning van het uitgangssignaal
  - $U_{in}$  = spanning van het ingangssignaal

# 1-4 Versterkers

## Transfertijs van een lineaire versterker

- Geeft de output weer voor een bepaalde input
- Transfertijs van het circuit
- Een ideale versterker heeft een als curve een rechte lijn tot oneindig
- Voor een actuele versterker, de curve is rechtlijnig tot verzadiging (saturation) wordt bereikt (zie fig 1-9)
- Vanuit deze karakteristiek kan de uitgangsspanning afgelezen worden voor een gegeven ingangsspanning.

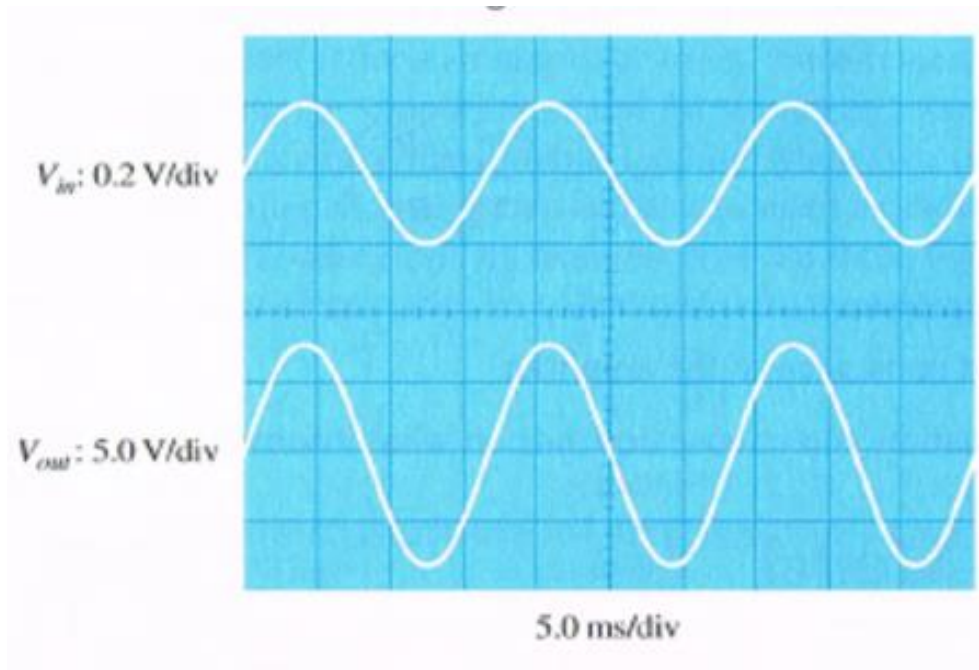


- Alle versterkers hebben bepaalde grenzen waarboven ze niet meer als ideaal werken. Eens de ingangsspanning groter wordt dan deze grens wordt het **verzadigingspunt** bereikt. Vanaf het verzadigingspunt volgt de uitgang niet langer meer de ingang. Vanaf dit punt is de versterker niet langer lineair en er treedt vervorming op
- **Alle versterkers hebben een bepaalde energiebron nodig.** Meestal in de vorm van een voeding (powersupply). Om de versterking te bekomen converteren versterkers een bepaalde hoeveelheid energie van deze voeding om in signaalvermogen.
- In blokschema's wordt dikwijls dit voedingssignaal weggelaten, maar het is onmisbaar om versterking te bekomen.

# 1-3 Signaalbronnen

## Voorbeeld:

Het in- en uitgangssignaal van een lineaire versterker is in onderstaande figuur weergegeven op een oscilloscoopdisplay. Gevraagd : Wat is de spanningsversterking van deze versterker?



## Oplossing :

Het ingangssignaal is 2 divisions van top tot top ( $U_{pp}$ )

$$U_{in} = 2 \text{ div} \times 0,2 \text{ V/div} = 0,4 \text{ V}$$

Het uitgangssignaal is 3,2 division van top tot top ( $U_{pp}$ )

$$U_{out} = 3,2 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} = 16 \text{ V}$$

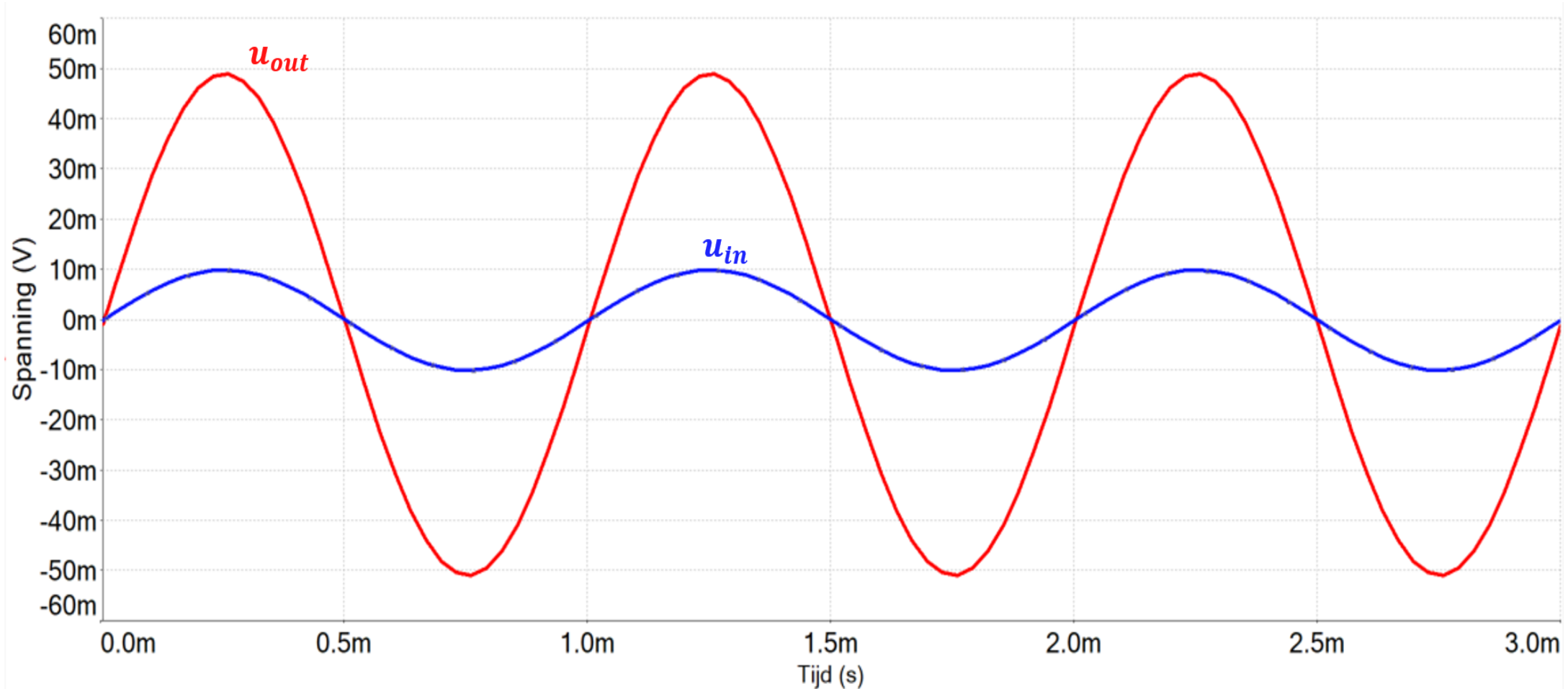
$$A_v = \frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{16 \text{ V}}{0,4 \text{ V}} = 40$$

# 1-3 Signaalbronnen

## Voorbeeld:

Het in- en uitgangssignaal van een lineaire versterker is in onderstaande figuur weergegeven.

Gevraagd : Wat is de spanningsversterking van deze versterker?

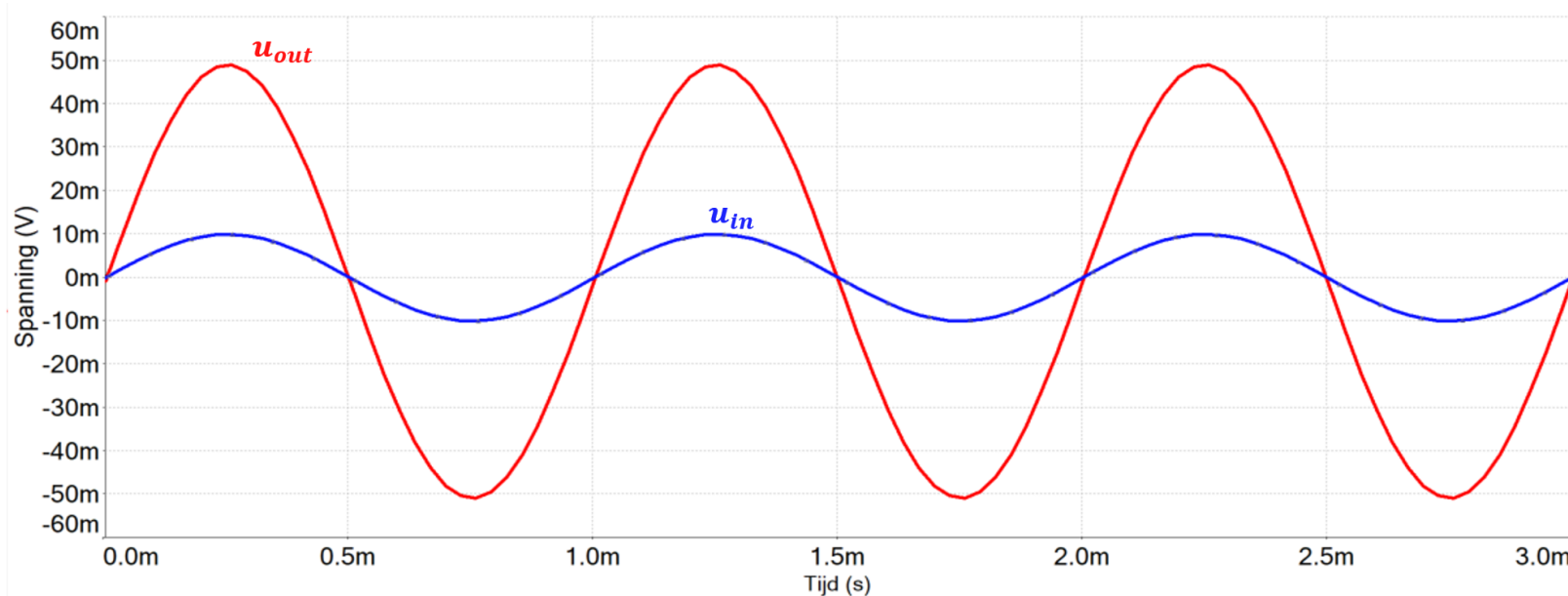


# 1-3 Signaalbronnen

## Voorbeeld:

Het in- en uitgangssignaal van een lineaire versterker is in onderstaande figuur weergegeven.

Gevraagd : Wat is de spanningsversterking van deze versterker?



Het ingangssignaal heeft een amplitude van ongeveer  $10 \text{ mV}$  en het uitgangssignaal een amplitude van ongeveer  $50 \text{ mV}$ . De spanningsversterking is dan gelijk aan :

$$A_v = \frac{u_{out}}{u_{in}} = \frac{50 \text{ mV}}{10 \text{ mV}} = 5$$

# 1-4 Versterkers

## De niet-lineaire versterker

Niet-lineaire versterkers worden vooral gebruikt voor waveshaping en switching

- Waveshaping: om het uitzicht van een golfvorm te veranderen
- Switching amplifier : produceert een rechthoekige uitgang aan de hand van een bepaalde golfvorm aan de ingang. (bv uit een sinus, driehoek of zaagtandvorm) De rechthoekige uitgang wordt dikwijls gebruikt als een controlesignaal voor bepaalde digitale applicaties.

- Een andere versterkingsfactor is de vermogenversterking  $A_p$  :

$$A_p = \frac{P_{uit}}{P_{in}} \quad (1-10)$$

- Met:

- $A_p$  = vermogenversterking (powergain)
- $P_{uit}$  = uitgangsvermogen
- $P_{in}$  = ingangsvermogen

Vermogen kan uitgedrukt worden in functie van spanning en stroom :

$$A_p = \frac{I_{uit} \cdot V_{uit}}{I_{in} \cdot V_{in}}$$

Vermogen kan uitgedrukt worden in functie van spanning en weerstand:

$$A_p = \frac{\frac{V_{uit}^2}{R_L}}{\frac{V_{in}^2}{R_{in}}}$$

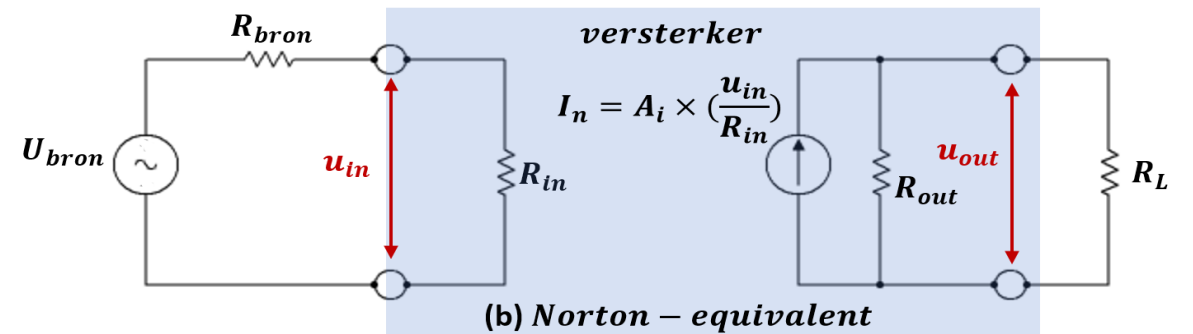
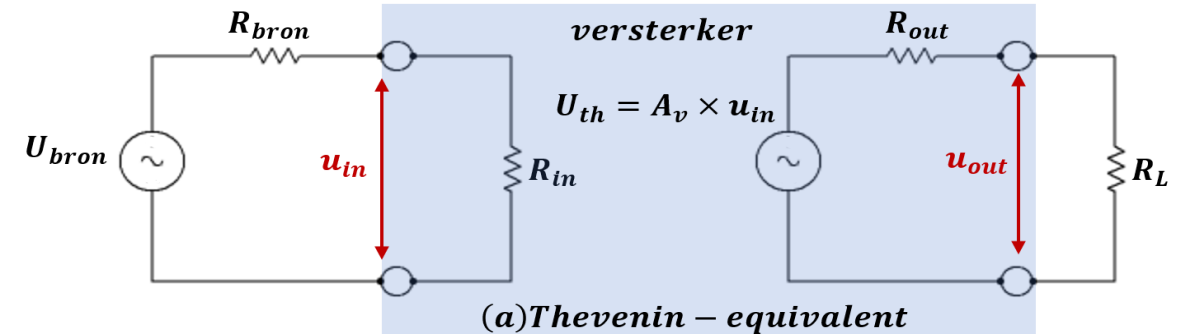
Met  $R_L$  de belastingsweerstand en  $R_{in}$  de ingangsweerstand van de versterker



# 1-4 Versterkers

## Amplifier Model (blz. 22)

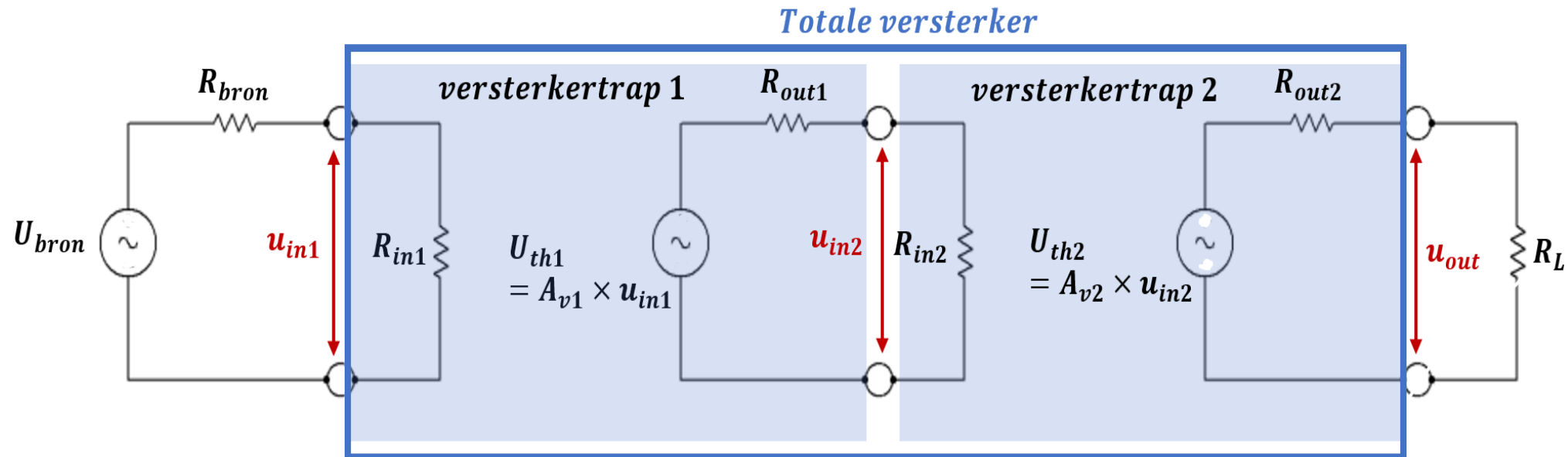
- Versterkers bestaan meestal uit transistoren, weerstanden, condensatoren, ... Toch kan men ze eenvoudig voorstellen als het komt op het analyseren van het gedrag van bron en belasting.
- Een versterker kan **voorgesteld worden als de interface** tussen een bron en een belasting (zie fig. 1-19a en 1-19b)
- Het ingangssignaal is afkomstig van een bron en wordt aangelegd aan de inputklemmen (terminals) van de versterker.
  - De inputterminals (voorgesteld door open cirkels in het schema) van een versterker stellen een ingangsweerstand  $R_{in}$  voor die verbonden is met de bron.
  - De ingangsweerstand heeft invloed op de ingangsspanning van de bron vermits ze een spanningsdeler vormen met de bronweerstand  $R_s$ .
- De uitgang van de versterker kan getekend worden als een Thevenin- of een Norton-bron zoals weergegeven in figuur 1-19.
  - De magnitude van de bron is afhankelijk van de onbelaste versterking ( $A_v$ ) en de ingangsspanning => de bron in het Thevenin- of Norton-equivalent is dus een afhankelijke bron (dependent source) De waarde van deze bron is steeds afhankelijk van een spannings- of stroomwaarde ergens anders in het circuit



# 1-4 Versterkers

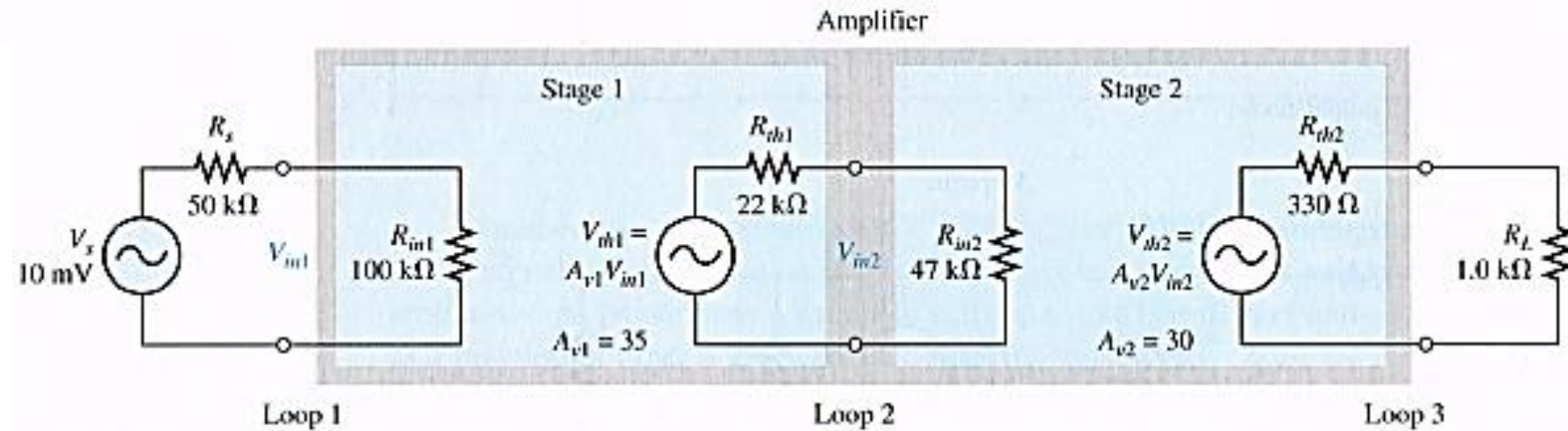
## Cascaded stages (versterkertrappen in cascade)(blz. 23)

- Thevenin- en Nortonmodellen van de versterker maken het analyseren van versterkersystemen gemakkelijk. Deze equivalente schema's zijn ook bruikbaar wanneer meerdere versterkertrappen in cascade worden geschakeld. Bijvoorbeeld om de interne belasting van de tweede versterkertrap op de eerste na te gaan.
- Voorbeeld : cascadeschakeling van een tweetrapsversterker (fig 1-20). De totale versterking is beïnvloed door de belastingseffecten van ieder van de 3 lussen. Iedere lus bestaat uit een eenvoudige serieschakeling zodat de spanningen via de formules voor spanningsdeling gemakkelijk berekent kunnen worden.



## EXAMPLE 1-7

Assume a transducer with a Thevenin (unloaded) source,  $V_s$ , of 10 mV and a Thevenin source resistance,  $R_s$ , of 50 k $\Omega$  is connected to a two-stage cascaded amplifier, as shown in Figure 1-21. Compute the voltage across a 1.0 k $\Omega$  load.



### SOLUTION

Compute the input voltage to stage 1 from the voltage-divider rule applied to loop 1.

$$V_{in1} = V_s \left( \frac{R_{in1}}{R_{in1} + R_s} \right) = 10 \text{ mV} \left( \frac{100 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega + 50 \text{ k}\Omega} \right) = 6.67 \text{ mV}$$

The Thevenin voltage for stage 1 is

$$V_{th1} = A_{v1} V_{in1} = (35)(6.67 \text{ mV}) = 233 \text{ mV}$$

Compute the input voltage to stage 2 again from the voltage-divider rule, this time applied to loop 2.

$$V_{in2} = V_{th1} \left( \frac{R_{in2}}{R_{in2} + R_{th1}} \right) = 233 \text{ mV} \left( \frac{47 \text{ k}\Omega}{47 \text{ k}\Omega + 22 \text{ k}\Omega} \right) = 159 \text{ mV}$$

The Thevenin voltage for stage 2 is

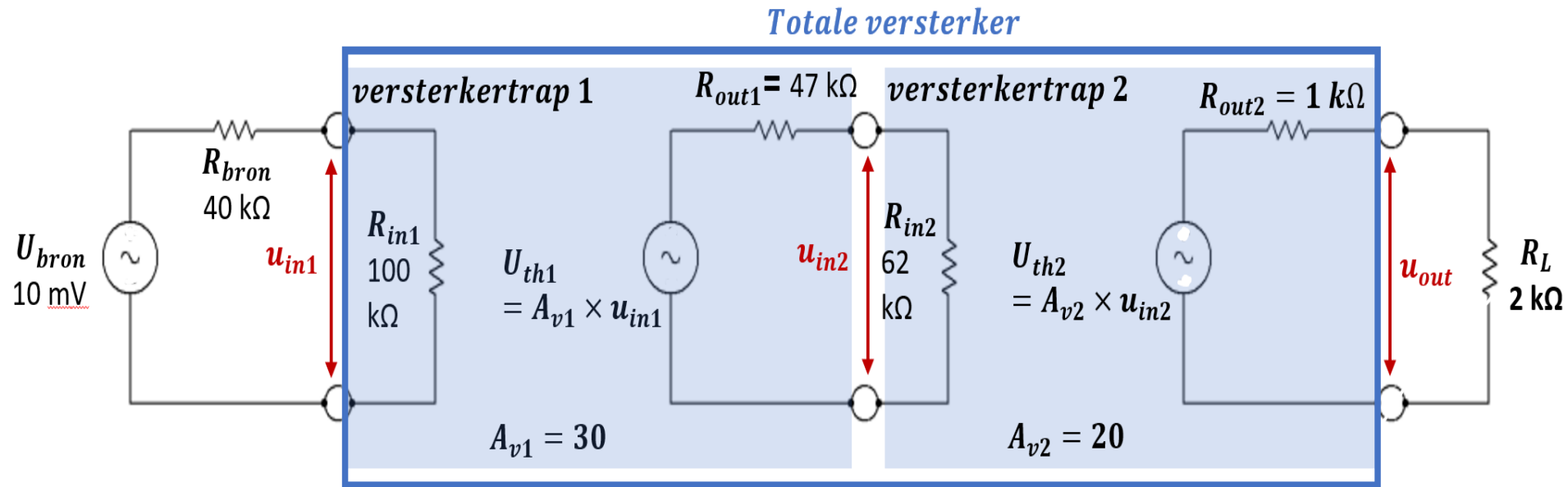
$$V_{th2} = A_{v2} V_{in2} = (30)(159 \text{ mV}) = 4.77 \text{ V}$$

Apply the voltage-divider rule one more time to loop 3. The voltage across the 1.0 k $\Omega$  load is

$$V_{R_L} = V_{th2} \left( \frac{R_L}{R_L + R_{th2}} \right) = 4.77 \text{ V} \left( \frac{1.0 \text{ k}\Omega}{1.0 \text{ k}\Omega + 330 \Omega} \right) = 3.59 \text{ V}$$

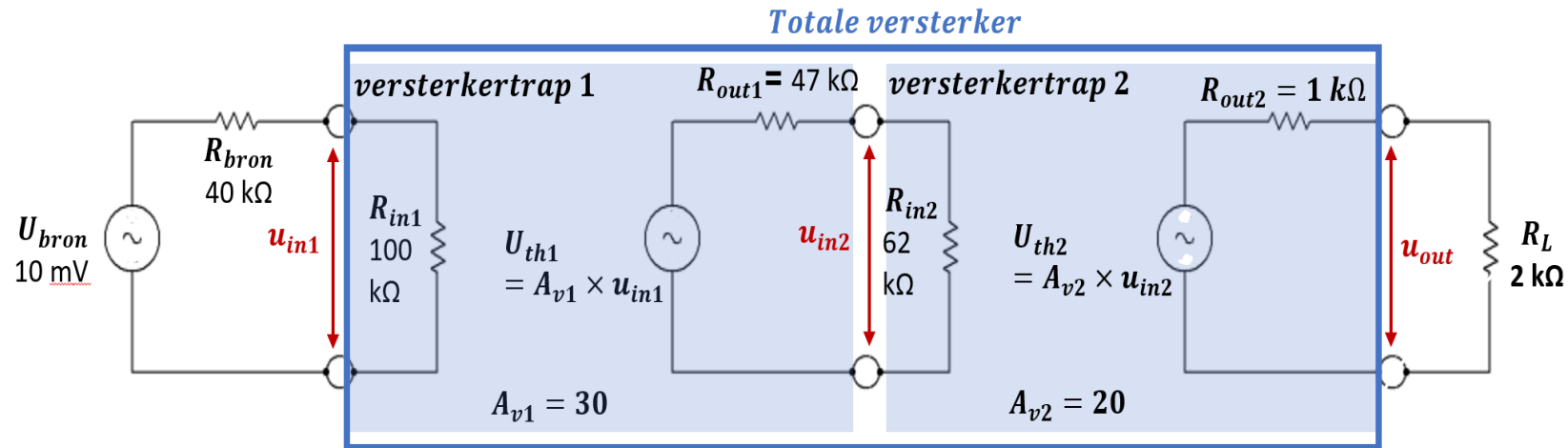
### Voorbeeld 1-4

Stel een transducer met een Thevin onbelaste bron  $U_{bron}$  met spanning  $10\text{ mV}$  en een Thevenin bronweerstand  $R_{bron}$  gelijk aan  $40\text{ k}\Omega$ . Deze transducer is verbonden met een tweetraps versterker met de kenmerken zoals in figuur 1-13 is weergegeven. Bereken de spanning over de belastingsweerstand  $R_L$  van  $2\text{ k}\Omega$ .



### Voorbeeld 1-4

- Bereken de spanning over de belastingsweerstand  $R_L$  van  $2\text{ k}\Omega$ .



### Oplossing

Via de spanningsdelerformule kan je bepalen hoeveel spanning over  $R_{in1}$  komt te staan van versterkertrap 1:

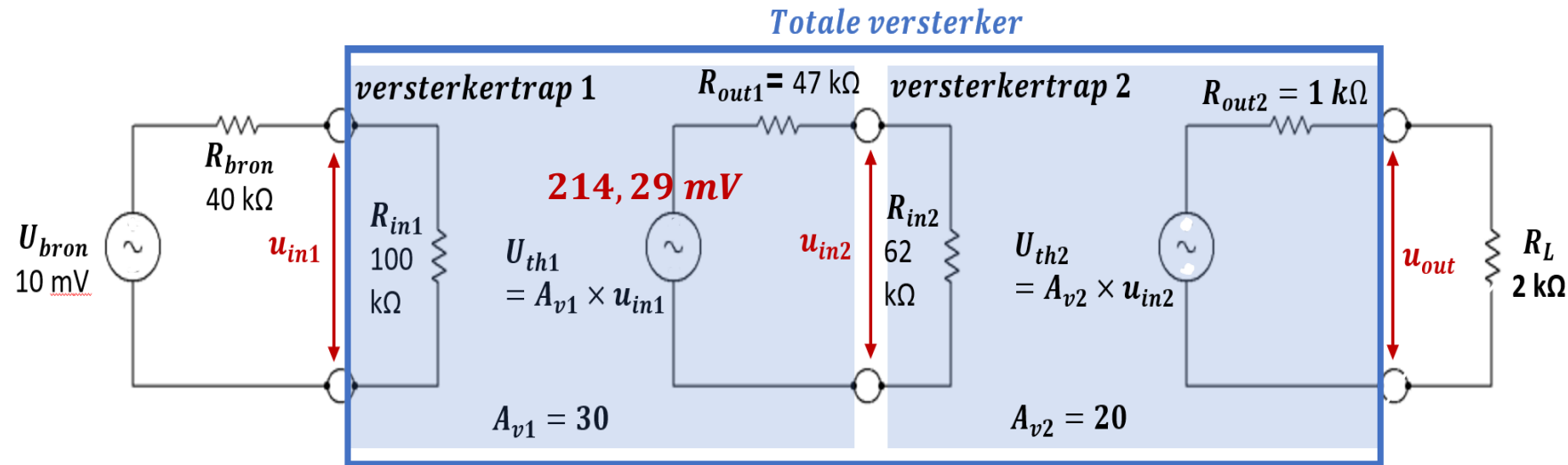
$$U_{Rin1} = \frac{R_{in1}}{R_{bron} + R_{in1}} \times U_{bron} = \frac{100\text{ k}\Omega}{40\text{ k}\Omega + 100\text{ k}\Omega} \times 10\text{ mV} = 7,14\text{ mV}$$

De spanning  $U_{Rin1}$  wordt door versterkertrap 1 dertig keer versterkt. Dit levert volgende spanning op voor  $U_{th1}$  :

$$U_{th1} = A_{v1} \times U_{Rin1} = 30 \times 7,14\text{ mV} = 214,29\text{ mV}$$

### Voorbeeld 1-4

- Bereken de spanning over de belastingsweerstand  $R_L$  van  $2\text{ k}\Omega$ .



### Oplossing

Op analoge wijze als de bepaling van  $U_{Rin1}$  kan je nu ook  $U_{Rin2}$  bepalen:

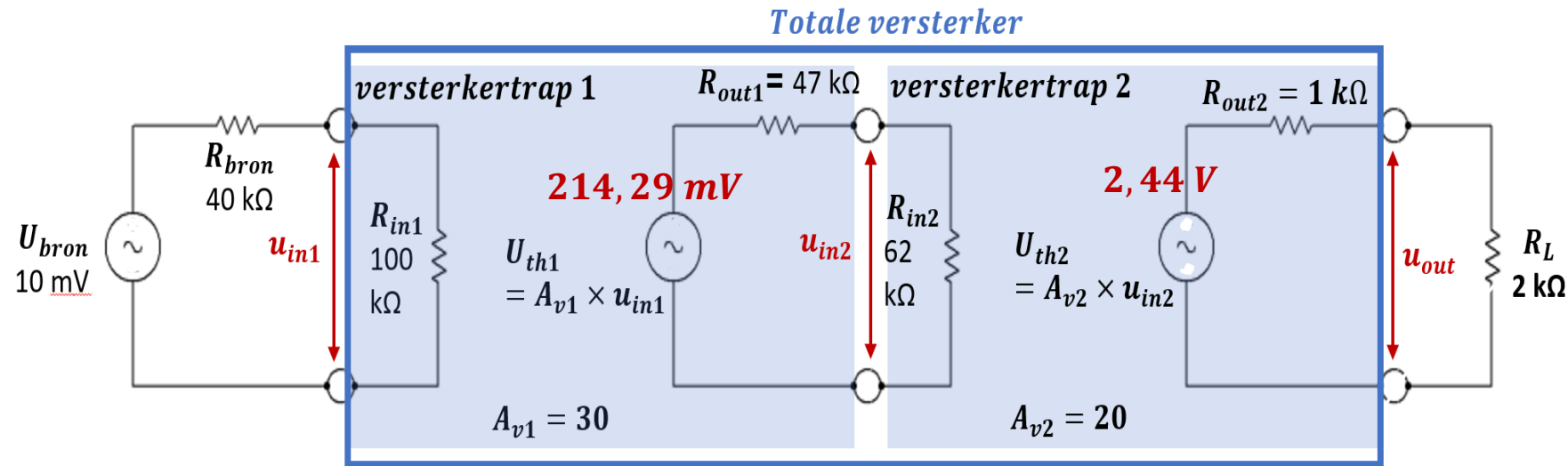
$$U_{Rin2} = \frac{R_{in2}}{R_{out1} + R_{in2}} \times U_{th1} = \frac{62\text{ k}\Omega}{47\text{ k}\Omega + 62\text{ k}\Omega} \times 214,29\text{ mV} = 121,89\text{ mV}$$

$U_{Rin2}$  wordt twintig keer versterkt door versterkertrap 2. Dit levert een  $U_{th2}$  op gelijk aan:

$$U_{th2} = A_{v2} \times U_{Rin2} = 20 \times 121,89\text{ mV} = 2,44\text{ V}$$

### Voorbeeld 1-4

- Bereken de spanning over de belastingsweerstand  $R_L$  van  $2\text{ k}\Omega$ .



### Oplossing

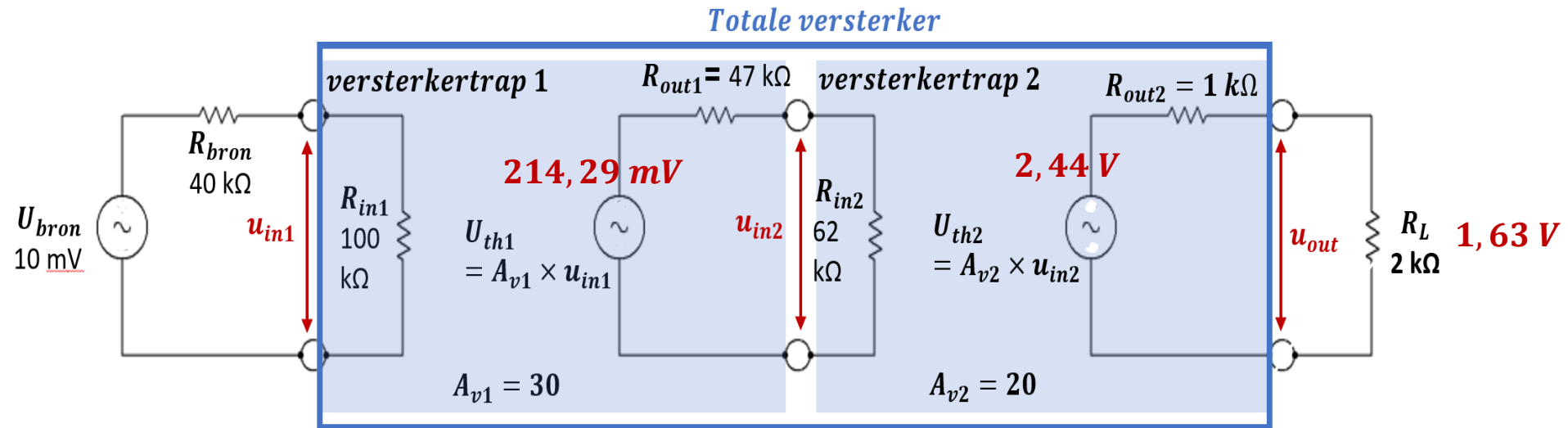
De uiteindelijk versterkte spanning die over de belastingsweerstand van  $2\text{ k}\Omega$  komt te staan is gelijk aan:

$$U_{RL} = \frac{R_L}{R_{out2} + R_L} \times U_{th2} = \frac{2\text{ k}\Omega}{1\text{ k}\Omega + 2\text{ k}\Omega} \times 2,44\text{ V} = 1,63\text{ V}$$



### Voorbeeld 1-4

- Bereken de spanning over de belastingsweerstand  $R_L$  van  $2\text{ k}\Omega$ .



Merk op dat de spanningsversterking zonder verliezen aan de in- en uitgangen van de versterkertrappen gelijk aan  $A_{v1} \times A_{v2}$  of 600 is in plaats van de 163 die er nu uiteindelijk over blijft. Als je de ingangsweerstanden van de versterkertrappen minstens 10 keer hoger maakt dan de uitgangsweerstanden van de transducer en de uitgangsweerstand  $R_{out1}$ , en  $R_{out2}$  10 keer kleiner dan de belasting  $R_L$  dan bekom je een totale spanningsversterking gelijk aan 450. Je ziet dus dat de keuze van in- en uitgangsimpedantie van een versterkertrap een enorme invloed heeft op de uiteindelijke versterkingsfactor van de schakeling.



## Logaritmen (blz. 19)

- Veelgebruikte eenheid in de elektronica is de decibel. Deze eenheid is gebaseerd op logaritmen.
- Een logaritme is een exponent.
- Beschouw volgende vergelijking:  $y = b^x$ 
  - De waarde  $y$  wordt bepaald door de exponent ( $x$ ) van de basis ( $b$ ) of grondtal; de exponent ( $x$ ) is het logaritme van het getal dat voorgesteld is door de letter  $y$ .
- Twee basissen (grondtallen) worden veel gebruikt: de basis **10** en de basis 'e'. Om een onderscheid tussen beiden te maken wordt het logaritme met basis 10 voorgesteld als "**log**" en het logaritme met basis "e" voorgesteld door "**ln**".
- Om te werken met decibel wordt als grondtal (basis) 10 genomen =>  $y = 10^x$
- Oplossen naar  $x$ :  $x = \log_{10} y$
- Het subscript 10 kan weggelaten worden vermits het vervat zit bij het gebruik van log.
- Logaritmen zijn bruikbaar als je moet vermenigvuldigen of delen met zeer grote of zeer kleine getallen.
- Als twee getallen geschreven worden met exponenten en deze worden met elkaar vermenigvuldigd, worden de exponenten eenvoudig bij elkaar opgeteld:  $10^x \cdot 10^y = 10^{x+y}$
- In logaritmevorm:  $\log xy = \log x + \log y$

Dit concept is bruikbaar aangaande het vermenigvuldigen van versterkingen van meerdere versterkertrappen of verzwakkers.

# 1-3 Signaalbronnen

## **Voorbeeld:**

Bepaal het logaritme (grondtal 10) voor volgende getallen:  
2, 20, 200 en 2000

## **Oplossing :**

Je kan de logaritmen bepalen door ieder getal in je rekenmachine in te tikken en vervolgens op de “log”-toets te klikken.

De resultaten zijn:

- $\log[2] = 0,30103$
- $\log 20 = 1,30103$
- $\log 200 = 2,30103$
- $\log 2000 = 3,30103$

**Merk op dat iedere stijging met een factor van 10 in y een stijging van 1,0 teweeg brengt in het logaritme (log)**

## **Voorbeeld :**

Zoek het getal waarvan het logaritme is gegeven door ieder getal je rekenmachine in te geven, op de toets “ $10^x$ ” te drukken (of “INV LOG” of “ $\log^{-1}$ ” te drukken) Gebruik volgende getallen :

0,5    1,5    2,5

## **Oplossing :**

- $10^{0,5} = 3,16228$
- $10^{1,5} = 31,6228$
- $10^{2,5} = 316,228$

**Merk op dat iedere stijging met 1 in x (het logaritme) een factor 10 stijging veroorzaakt in het getal.**

## Decibel vermogenverhoudingen (blz. 19)

- In de beginjaren van de telefonie besloten ingenieurs de decibel te gebruiken als een middel om grote bereiken van versterking of verzwakking te beschrijven.
- De **decibel (dB)** wordt gedefinieerd als 10 vermenigvuldigd met de logaritmische verhouding van vermogenversterking.

$$dB = 10 \log \left( \frac{P_2}{P_1} \right) \quad (1 - 2)$$

- $P_1$  en  $P_2$  zijn de twee vermogenniveaus die met elkaar worden vergeleken;
- Vermogensversterking  $A'_p$  in dB:

$$A'_p = 10 \log \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

met  $A'_p$  de vermogensversterking in dB,  $P_{out}$  het vermogen geleverd aan de belasting en  $P_{in}$  het vermogen geleverd aan de versterker.

- De dB is een dimensieloze hoeveelheid omdat het een verhouding is.
- Iedere vermogenmeting met dezelfde verhouding heeft dezelfde hoeveelheid dB.
  - Vb: vermogensverhouding tussen 500 W en 1 W => 27 dB is evenveel als de vermogensverhouding tussen 100 mW en 0,2 mW
- De dB-waarde is positief voor versterking en negatief voor verzwakking of vermogenverlies (power loss).

# 1-4 Versterkers

**Belangrijke verhouding is 2:1**, Waarom? Deze vermogensverhouding wordt gebruikt voor het specificeren van afsnijfrequenties voor versterkers, filters, ...

## Vermogensverhouding 2:1 (verdubbeling van vermogen)

$$A'_p = 10 \log \left( \frac{P_2}{P_1} \right) = 10 \log \left( \frac{2}{1} \right) = 3,01 \text{ dB}$$

- Deze verhouding stelt verdubbeling van vermogen voor > 6 dB is een vermenigvuldiging met 4 (2x2) en 9 dB een vermenigvuldiging met 8 (2x2x2)
- Plaats waar het vermogen de helft is, wordt meestal afgerond tot 3 dB.

## Een andere belangrijke verhouding is 10:1

- Vermits  $\log 10 = 1$ , stelt 10 dB een vermogensverhouding van 10:1 voor => met deze gegevens kan je snel de totale vermogensversterking bepalen.
- **Vb een vermogensversterking van 23 dB kan opgesplitst worden in 2 keer 10 dB en één keer 3 dB =>  $10 \times 10 \times 2 = 200$  keer versterkt**

## Vermogensverhouding 1:2 (halvering van vermogen)

$$A'_p = 10 \log \left( \frac{P_2}{P_1} \right) = 10 \log \left( \frac{1}{2} \right) = -3,01 \text{ dB}$$

- Bij halvering van het vermogen verkrijgen we eveneens 3 dB maar met een minteken voor => -3 dB
- Het negatieve resultaat betekent dat het uitgangsvermogen lager is dan het ingangsvermogen.

## EXAMPLE 1-9

Compute the overall power gain of the amplifier in Example 1-7. Express the answer as both power gain and decibel power gain.

### SOLUTION

The power delivered to the amplifier is

$$P_{in1} = \frac{V_{in1}^2}{R_{in1}} = \frac{(6.67 \text{ mV})^2}{100 \text{ k}\Omega} = 445 \text{ pW}$$

The power delivered to the load is

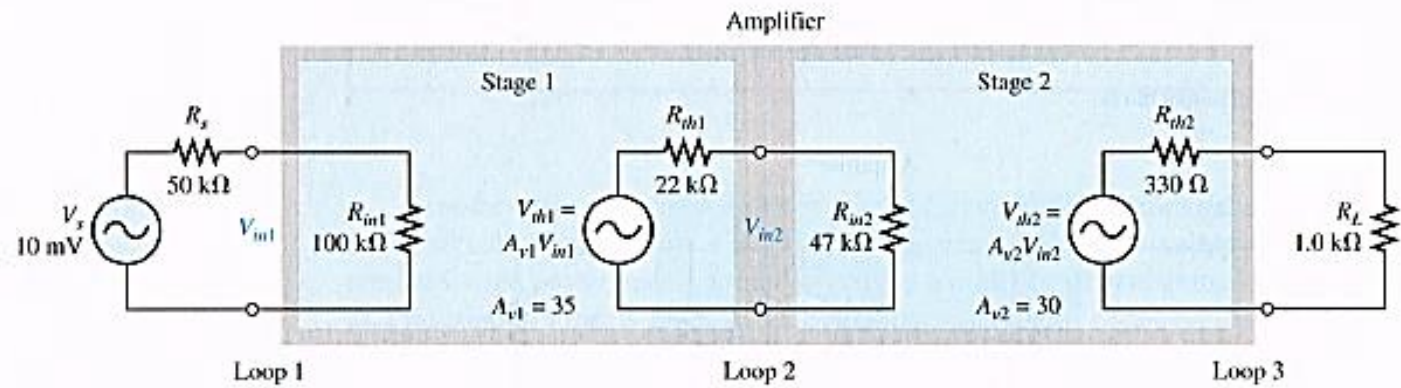
$$P_{out} = \frac{V_{R_L}^2}{R_L} = \frac{(3.59 \text{ V})^2}{1.0 \text{ k}\Omega} = 12.9 \text{ mW}$$

The power gain,  $A_p$ , is the ratio of  $P_{out}/P_{in1}$ .

$$A_p = \frac{P_{out}}{P_{in1}} = \frac{12.9 \text{ mW}}{445 \text{ pW}} = 29.0 \times 10^6$$

Expressed in dB,

$$A'_p = 10 \log 29.0 \times 10^6 = 74.6 \text{ dB}$$



$$V_{in1} = V_s \left( \frac{R_{in1}}{R_{in1} + R_s} \right) = 10 \text{ mV} \left( \frac{100 \text{ k}\Omega}{100 \text{ k}\Omega + 50 \text{ k}\Omega} \right) = 6.67 \text{ mV}$$

$$V_{in2} = V_{th1} \left( \frac{R_{in2}}{R_{in2} + R_{th1}} \right) = 233 \text{ mV} \left( \frac{47 \text{ k}\Omega}{47 \text{ k}\Omega + 22 \text{ k}\Omega} \right) = 159 \text{ mV}$$

$$V_{R_L} = V_{th2} \left( \frac{R_L}{R_L + R_{th2}} \right) = 4.77 \text{ V} \left( \frac{1.0 \text{ k}\Omega}{1.0 \text{ k}\Omega + 330 \Omega} \right) = 3.59 \text{ V}$$

# 1-4 Versterkers

Binnen elektronica (bv. bij microgolfsenders) worden verschillende versterkertrappen gecombineerd tot één grote versterking of verzwakking.

De totale spanningsversterking heeft dan een vorm zoals :

$$A_{v(tot)} = A_{v1} \times A_{v2} \times \dots \times A_{vn}$$

De decibel-eenheden zijn hier nuttig vermits ze toelaten de afzonderlijke dB-waarde per versterkertrap op te tellen in plaats van te vermenigvuldigen.

$$A'_{v(tot)} = A'_{v1} + A'_{v2} + \dots + A'_{vn}$$

## EXAMPLE 1-10

Assume the transmitted power from a radar is 10 kW. A directional coupler (a device that samples the transmitted signal) has an output that represents  $-40$  dB of attenuation. Two 3 dB attenuators are connected in series to this output, and the attenuated signal is terminated with a  $50\ \Omega$  terminator (load resistor). What is the power dissipated in the terminator?

### SOLUTION

$$\text{dB} = 10 \log\left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

The transmitted power is attenuated by 46 dB (sum of the attenuators). Substituting,

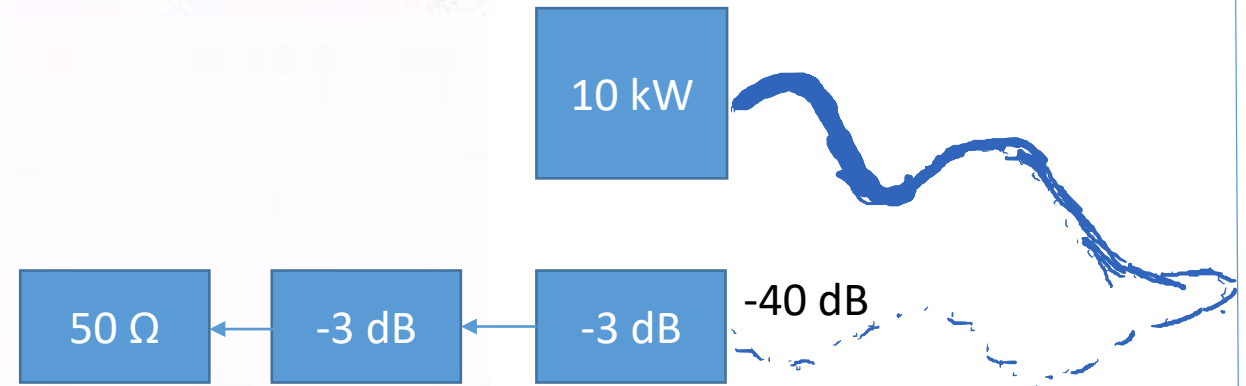
$$-46\ \text{dB} = 10 \log\left(\frac{P_2}{10\ \text{kW}}\right)$$

Divide both sides by 10 and remove the log function.

$$10^{-4.6} = \frac{P_2}{10\ \text{kW}}$$

Therefore,

$$P_2 = 251\ \text{mW}$$



## De dBm-waarde

- dBm is het vermogenniveau waarbij veronderstelt wordt dat er 1 mW vermogen ontwikkeld wordt in een belastingsimpedantie.
  - Bij RF-systemen is dit 50  $\Omega$  en voor audiosystemen is de belastingsimpedantie 600  $\Omega$

$$\text{dBm} = 10 \log\left(\frac{P_2}{1 \text{ mW}}\right)$$

- dBm wordt gebruikt voor absolute metingen waarbij het referentie vermogenniveau (1 mW) gekend is.
- dBm wordt algemeen gebruikt om het uitgangsniveau van signaalgeneratoren weer te geven en wordt in de telecommunicatie gebruikt voor het vereenvoudigen van de berekening van vermogenniveau's.



# 1-4 Versterkers

## Decibel Voltage ratios (blz. 28)

- Vermits het vermogen gegeven is bij de verhouding  $V^2/R$  kan de decibel vermogensverhouding geschreven worden als :

$$\text{dB} = 10 \log \left( \frac{V_2^2/R_2}{V_1^2/R_1} \right)$$

- Hierbij zij  $R_1$  en  $R_2$  de weerstanden waarin het vermogen  $P_1$  en  $P_2$  zich ontwikkelt.  $V_1$  en  $V_2$  zijn de spanningsvallen over de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$ .
- Als de weerstanden gelijk aan elkaar zijn dan verkrijgen we:  $\text{dB} = 10 \log \left( \frac{V_2^2}{V_1^2} \right)$
- Een eigenschap van logaritmen is:  $\log x^2 = 2 \log x \Rightarrow$  de decibelverhouding wordt dan :  $\text{dB} = 20 \log \left( \frac{V_2}{V_1} \right)$
- Algemeen vinden we dan de spanningsversterking in dB ( $A'_v$ ) :  $A'_v = 20 \log \left( \frac{V_{out}}{V_{in}} \right) \quad (1-13)$
- Merk op dat de vermogensversterking in dB en de spanningsversterking in dB dezelfde verhouding geven als de ingangsimpedantie en de belasting dezelfde waarde hebben. Wanneer deze weerstanden niet gelijk aan elkaar zijn geven beide dB-formules niet hetzelfde resultaat.
- Merk op dat bij de decibel spanningsversterking een verhouding van 2:1 de decibelwaarde ongeveer 6 dB geeft; bij een verhouding van 1:2 is dit -6 dB
- Bij verhouding 10:1 is de dB-waarde 20 dB ( $20 \log 10 = 20$ )

## EXAMPLE 1-11

An amplifier with an input resistance of  $200\text{ k}\Omega$  drives a load resistance of  $16\text{ }\Omega$ . If the input voltage is  $100\text{ }\mu\text{V}$  and the output voltage is  $18\text{ V}$ , calculate the decibel power gain and the decibel voltage gain.

### SOLUTION

The power delivered to the amplifier is

$$P_{in} = \frac{V_{in}^2}{R_{in}} = \frac{(100\text{ }\mu\text{V})^2}{200\text{ k}\Omega} = 5 \times 10^{-14}\text{ W}$$

The output power (delivered to the load) is

$$P_{out} = \frac{V_{out}^2}{R_L} = \frac{(18\text{ V})^2}{16\text{ }\Omega} = 20.25\text{ W}$$

The decibel power gain is

$$A'_p = 10 \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) = 10 \log\left(\frac{20.25\text{ W}}{5 \times 10^{-14}\text{ W}}\right) = \mathbf{146\text{ dB}}$$

The decibel voltage gain is

$$A'_v = 20 \log\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right) = 20 \log\left(\frac{18\text{ V}}{100\text{ }\mu\text{V}}\right) = \mathbf{105\text{ dB}}$$

**Voorbeeld 1-9 :**

Een versterker met een ingangsimpedantie van  $200\text{ k}\Omega$  stuurt een luidspreker aan met impedantie  $8\text{ }\Omega$ . Als deingangsspanning gelijk is aan  $200\text{ mV}$  en de uitgangsspanning gelijk is aan  $24\text{ V}$ , bepaal dan de vermogenversterking in decibel en de spanningsversterking in decibel.

**Voorbeeld 1-9 :**

Een versterker met een ingangsimpedantie van  $200\text{ k}\Omega$  stuurt een luidspreker aan met impedantie  $8\text{ }\Omega$ . Als deingangsspanning gelijk is aan  $200\text{ mV}$  en de uitgangsspanning gelijk is aan  $24\text{ V}$ , bepaal dan de vermogenversterking in decibel en de spanningsversterking in decibel.

**Oplossing :**

De spanningsversterking in decibel is gelijk aan:

$$A'_v = 20 \log \left( \frac{24\text{ V}}{200\text{ mV}} \right) = 41,58\text{ dB}$$

Het vermogen geleverd aan de belasting is gelijk aan :

$$P_{out} = \frac{(24\text{ V})^2}{8\text{ }\Omega} = 72\text{ W}$$

Het vermogen aan de ingang is gelijk aan :

$$P_{in} = \frac{(200\text{ mV})^2}{200\text{ k}\Omega} = 0,2\text{ }\mu\text{W}$$

De vermogenversterking in  $\text{dB}$  is dan gelijk aan :

$$A'_p = 10 \log \left( \frac{72\text{ W}}{0,2\text{ }\mu\text{ W}} \right) = 85,56\text{ dB}$$

# 1-4 Versterkers

- **Section 1-4 checkup**

1. Wat is een ideale versterker?
2. Wat is een afhankelijke bron?
3. Wat is een decibel?

