



# Elektriciteit AC

---

**Departement: Industrie en Omgeving**

**Opleiding: Graduaat Elektromechanische Systemen**

**Lector: Jo Vandenbosch**  
[jo.vandenbosch@ap.be](mailto:jo.vandenbosch@ap.be)

Elektriciteit AC .....	1
Overzicht van gebruikte grootheden en eenheden .....	7
Bedeutende cijfers of cijfers na de komma? .....	9
Hoofdstuk 1: Basisbegrippen .....	12
1.1. Wisselstroom.....	12
1.2. Wisselspanning.....	13
1.3. Ogenblikkelijke waarde $U_t$ [V]. .....	14
1.4. Periode $T$ [s]. .....	15
1.5. Frequentie $f$ [Hz]. .....	16
1.6. Gemiddelde stroom $I_g$ [A]. .....	16
1.7. Gemiddelde spanning $U_g$ [V]. .....	18
1.8. Stroom- en spanningssoorten. ....	18
1.9. Topwaarde $U_t$ [V], top-top waarde $U_{tt}$ [V] en amplitude $U_m$ [V]. .....	19
1.10. De effectieve waarden $U$ [V] en $I$ [A]. .....	20
1.11. Oefeningen. ....	21
Hoofdstuk 2: Sinusoïdale spanning en stroom. ....	22
2.1. Periode, frequentie, alternantie, amplitude en top-topwaarde.....	22
2.2. Effectieve waarde $U$ [V] van een zuivere sinus. ....	23
2.3. Gemiddelde waarde $U_g$ [V] van een zuivere sinus.....	23
2.4. Herhaling: hoeken in graden en radialen.....	25
2.5. Vectoriële voorstelling. ....	25
2.6. Belang van de vectoriële voorstelling. ....	27
2.7. Berekenen van de ogenblikkelijke waarde $u_t$ . ....	28
2.8. Oefeningen. ....	30
Hoofdstuk 3: De enkelvoudige AC-kring .....	31
3.1. Gelijkstroom en weerstand $R$ [ $\Omega$ ]. ....	31
3.2. Wisselstroom en impedantie $Z$ [ $\Omega$ ]. ....	31
3.3. Faseverschuiving.....	32
3.4. Volledige bepaling van de impedantie. ....	33
3.5. De drie ideale componenten. ....	33
3.5.1. De zuivere of ideale weerstand. ....	34
3.5.2. De zuivere of ideale condensator. ....	35
3.5.3. De zuivere of ideale spoel. ....	38
3.6. Samenvatting ideale componenten.....	41
3.6.1. Ideale weerstand.....	41
3.6.2. Ideale condensator.....	41
3.6.3. Ideale spoel.....	41

3.7. Willekeurige verbruiker. ....	42
3.8. Oefeningen. ....	43
Hoofdstuk 4: Wisselstroomvermogens .....	45
4.1. Ogenblikkelijk vermogen $p$ [W]. ....	45
4.2. Vermogenverloop bij een ideale weerstand ( $\varphi = 0^\circ$ ). ....	45
4.3. Vermogenverloop bij een ideale condensator ( $\varphi = -90^\circ$ ). ....	48
4.4. Vermogenverloop bij een ideale spoel ( $\varphi = +90^\circ$ ). ....	50
4.5. Vermogenverloop bij een willekeurig belasting $Z$ ( $-90^\circ \leq \varphi \leq +90^\circ$ ). ....	52
4.6. Schijnbaar $S$ [VA] en reactief vermogen $Q$ [VAR]. ....	54
4.7. Reactief en schijnbaar vermogen van ideale componenten. ....	55
4.7.1. De ideale weerstand ( $\varphi = 0$ ). ....	55
4.7.2. De ideale condensator ( $\varphi = -90^\circ$ ). ....	55
4.7.3. De ideale spoel ( $\varphi = +90^\circ$ ). ....	55
4.8. Oefeningen. ....	56
4.9. Herhaling rechthoekige driehoek. ....	58
4.10. De stroomdriehoek en de vermogendriehoek. ....	59
4.11. Oefeningen. ....	60
4.12. Optellen van vermogens bij meerdere parallelle verbruikers. ....	61
4.13. Oefeningen. ....	62
4.14. Verbruikte energie. ....	62
Hoofdstuk 5: Parallelkringen .....	63
5.1 Inleiding. ....	63
5.2 Weerstanden. ....	63
5.3 Spoelen. ....	64
5.4 Condensatoren. ....	65
5.5 Weerstand en spoel. ....	66
5.6 Weerstand en condensator. ....	69
5.7 Weerstand, spoel en condensator. ....	71
5.7.1 $I_c < I_L$ : inductief gedrag. ....	72
5.7.2 $I_c = I_L$ : ohms gedrag, de keten is in resonantie. ....	74
5.7.3 $I_c > I_L$ : capacitief gedrag. ....	75
5.7.4 Resonantie- of eigenfrequentie. ....	76
5.8 Oefeningen. ....	78
Hoofdstuk 6: Seriekeringen .....	81
6.1. Inleiding. ....	81
6.2. Weerstanden. ....	81
6.3. Spoelen. ....	82

6.4. Condensatoren.....	83
6.5. Weerstand en spoel.....	84
6.6. Weerstand en condensator.....	87
6.7. Weerstand, spoel en condensator.....	89
6.7.1. $U_c < U_L$ : inductief gedrag.....	90
6.7.2. $I_c = I_L$ : ohms gedrag, de keten is in resonantie.....	91
6.7.3. $U_c > U_L$ : capacitief gedrag.....	92
6.7.4. Resonantie- of eigenfrequentie.....	94
6.8. Oefeningen.....	96
Hoofdstuk 7: Verbeteren van de arbeidsfactor.....	100
7.1. Invloed van de $\cos(\varphi)$ op de stroomsterkte, arbeidsfactor AF.....	100
7.2. Verbeteren van de AF.....	101
7.3. Bepalen van de benodigde capaciteit.....	103
7.4. Voorbeeld.....	103
7.4.1. Vermogens zonder compensatie:.....	103
7.4.2. Vermogens met compensatie:.....	104
7.4.3. De capaciteit.....	104
7.4.4. Bronstroom zonder en met compensatie:.....	105
7.4.5. Conclusie.....	105
7.5. Algemene formule.....	105
7.6. Oefeningen.....	105
Hoofdstuk 8: Driefasige netten.....	107
8.1. Inleiding.....	107
8.2. De algemene opbouw van een driefasig net.....	107
8.3. De sterschakeling en het vierdraadsnet.....	109
8.3.1. Opbouw van een vierdraadsnet.....	109
8.3.2. Beschikbare spanningen in een vierdraadsnet.....	109
8.3.3. Spanningsaanduiding op installaties.....	112
8.4. De driehoeksschakeling en het driedraadsnet.....	112
8.5. Driefasige belastingen.....	113
8.5.1. Drie- en vierdraadsaansluiting.....	113
8.5.2. Gelijkmatische belasting en ongelijkmatische belasting.....	114
8.5.3. Voorbeeld: belasting in ster Y of driehoek D.....	114
8.6. Omschakelbare belasting en niet-omschakelbare belasting.....	116
8.7. Berekeningen op driefasige netten en belastingen.....	117
8.7.1. Belasting in driehoek.....	117
8.7.2. Belasting in ster met N aangesloten.....	118

8.7.3. Belasting in ster zonder N aangesloten. ....	119
8.7.4. Nulleiderbreuk bij de sterschakeling. ....	119
8.8. Meerdere belastingen aansluiten op driefasige installaties. ....	120
8.8.1. Vierdraads net 3x400V+N. ....	120
8.8.2. Driedraads net. ....	121
8.9. Oefeningen. ....	122
Hoofdstuk 9: Driefasige vermogens en AF .....	124
9.1. Inleiding. ....	124
9.2. Vermogens berekenen. ....	124
9.3. Vereenvoudiging voor symmetrische belasting. ....	124
9.4. Bepalen van de arbeidsfactor AF. ....	126
9.5. Verbeteren van de arbeidsfactor AF.....	126
9.6. Oefeningen. ....	127
9.6.1. Symmetrische belasting.....	127
9.6.2. Asymmetrische belasting. ....	128
9.7. Meten van vermogens. ....	129
9.8. Meten van actief vermogen P.....	129
9.8.1. Met nulleider en asymmetrische belasting.....	129
9.8.2. Met nulleider en symmetrische belasting.....	129
9.8.3. Zonder nulleider en symmetrische belasting.....	130
9.8.4. Foute schakeling.....	130
Hoofdstuk 10: De monofasige transformator.....	131
10.1. Inleiding. ....	131
10.2. Opbouw en schemasymbool.....	132
10.3. Principewerking. ....	133
10.4. Gedrag bij nullast. ....	134
10.5. Gedrag bij belasting. ....	135
10.6. Spanningsverliezen.....	137
10.7. Nominale waarden.....	137
10.8. Oefeningen. ....	138
10.9. De nullastproef. ....	138
10.10. De korstluitproef. ....	140
10.11. Serie schakelen.....	141
10.12. Diverse uitvoeringen en speciale transformatoren. ....	143
10.12.1. De spaartrafo of autotrafo. ....	143
10.12.2. Meettransformatoren. ....	144

Hoofdstuk 11: De driefasige trafo.....	147
11.1. Inleiding.....	147
11.2. Opbouw en schakelingen.....	147
11.3. De transformatieverhouding.....	148
11.4. Oefeningen.....	148
11.5. De zigzagtrafo.....	149
11.6. Het klokgetal.....	149

## Overzicht van gebruikte grootheden en eenheden

Grootheid	Symbool	Eenheid	Symbool eenheid
Spanning	U	volt	(V)
Stroom	I	ampère	(A)
Vermogen (actief)	P	watt	(W)
Schijnbaar vermogen	S	voltampère	(VA)
Reactief vermogen	Q	voltampère reactief	(VAR)
Weerstand	R	ohm	( $\Omega$ )
Impedantie	Z	ohm	( $\Omega$ )
Frequentie	f	hertz	(Hz)
Tijd	t	seconde	(s)
Fasehoek	$\phi$	graden/radialen	( $^{\circ}$ )/(rad)
Energie	E	joule / kilowattuur	(J) / (kWh)
Capaciteit	C	farad	(F)
Zelfinductie	L	henry	(H)

Grootheid	Symbol	Eenheid	Symbol eenheid
Topwaarde spanning	$U_m$	volt	(V)
Topwaarde stroom	$I_m$	ampère	(A)
Ogenblikkelijke spanning	$u(t)$	volt	(V)
Ogenblikkelijke stroom	$i(t)$	ampère	(A)
Gemiddelde spanning	$U_g$	volt	(V)
Gemiddelde stroom	$I_g$	ampère	(A)
Top-topwaarde spanning	$U_{tt} / U_{pp}$	volt	(V)
Top-topwaarde stroom	$I_{tt} / I_{pp}$	ampère	(A)
Lading	$Q$	coulomb	(C)
Magnetische flux	$\Phi$	weber	(Wb)
Admittantie	$Y$	siemens	(S)
Spoelstroom	$I_L$	ampère	(A)
Capacitorstroom	$I_C$	ampère	(A)
Hoekfrequentie	$\omega$	rad/s	(rad/s)
Reactantie spoel	$X_L$	ohm	( $\Omega$ )
Reactantie condensator	$X_C$	ohm	( $\Omega$ )
Aantal windingen	$N$	geen eenheid	(-)
Transformatorverhouding	$k$	verhouding	(-)
Vermogensfactor	$\cos(\phi)$	verhouding	(-)

## **Beduidende cijfers of cijfers na de komma?**

Vaak wordt de vraag gesteld hoeveel cijfers na de komma een resultaat moet bevatten. Dat is eigenlijk niet zo een goede vraag. Een betere vraag is hoeveel beduidende cijfers een resultaat moet bevatten.

### **Aantal cijfers na de komma.**

Nemen we als voorbeeld een spanning van 12,34 mV die we op verschillende manieren kunnen noteren gebruik makend van de voorvoegsels.

$$12,34 \text{ mV} = 12340 \text{ } \mu\text{V} = 0,01234 \text{ V} = 0,00001234 \text{ kV}$$

Als we afronden tot op 2 cijfers na de komma, dan noteren we dit als volgt rekening houdend met de afrondingsregels:

$$12,34 \text{ mV} = 12340 \text{ } \mu\text{V} = 0,01 \text{ V} = 0,00 \text{ kV}$$

In de twee laatste notaties is de nauwkeurigheid hierdoor beduidend afgenomen. De voorlaatste notatie suggereert dat de spanning slechts 10 mV bedraagt, terwijl de laatste suggereert dat de spanning zelfs 0 V bedraagt. Dit systeem garandeert dus geen consistente nauwkeurigheid.

### **Aantal beduidende cijfers.**

Wanneer we gebruik maken van beduidende cijfers, dan tellen we het aantal cijfers zonder alle voorloopnullen. Dit zijn alle nullen die links staan van het eerste cijfer dat zelf niet nul is. Bijvoorbeeld:

0,025	Twee beduidende cijfers
0,0002589	Vier beduidende cijfers
0,0123456	Zes beduidende cijfers
0,0000123456	Zes beduidende cijfers

Nullen tussen andere cijfers en nullen aan de rechterkant tellen echter wel mee!

0,0205	Drie beduidende cijfers
0,00020589	Vijf beduidende cijfers
0,012345600	Acht beduidende cijfers
0,0000120034560	Negen beduidende cijfers

We passen dit toe op de spanning uit het eerste voorbeeld wanneer we 4 beduidende cijfers hanteren:

$$12,34 \text{ mV} = 12340 \text{ } \mu\text{V} = 0,01234 \text{ V} = 0,00001234 \text{ kV}$$

Wordt dan:

$$12,34 \text{ mV} = 12340 \text{ } \mu\text{V} = 0,01234 \text{ V} = 0,00001234 \text{ kV}$$

Deze vier notaties leveren dus nu wel steeds dezelfde nauwkeurigheid op! Bemerkt hierbij dat de notatie  $12340 \text{ } \mu\text{V}$  eigenlijk gebruik maakt van vijf beduidende cijfers.

### Voorvoegsels, afronden en nauwkeurigheid.

Door het gebruik van voorvoegsels en het afronden van een getal beperken we het aantal cijfers en verhogen we de leesbaarheid. Volgende voorbeelden tonen dit door af te ronden tot drie beduidende cijfers:

$$12345678 \text{ V} = 12,3 \text{ MV}$$

$$0,00012345 \text{ A} = 123 \mu\text{A}$$

$$0,8888 \text{ V} = 889 \text{ mV}$$

$$0,4444 \text{ V} = 444 \text{ mV}$$

$$0,00005559 \text{ V} = 55,6 \mu\text{V}$$

Afronden veroorzaakt echter een fout op het resultaat. Bijvoorbeeld:

We ronden  $12345678 \text{ V}$  af tot  $12,3 \text{ MV}$  ( $= 12300000 \text{ V}$ )

We veroorzaken dus een notatiefout van  $12345678 \text{ V} - 12300000 \text{ V} = 45678 \text{ V}$

$$\text{Procentueel bedragt deze fout} = \frac{45678 \text{ V}}{12345678 \text{ V}} * 100\% = 0,37\%$$

Blijkbaar valt de gemaakte fout in dit voorbeeld dus nog mee. En dat is natuurlijk een belangrijke voorwaarde bij het afronden. Nu is de maximale fout die we kunnen veroorzaken door af te ronden afhankelijk van het aantal gebruikte beduidende cijfers. Uit volgend overzicht kunnen we stellen dat vier beduidende cijfers meestal ruim voldoende is.

- Afronden tot twee beduidende cijfers geeft een maximale mogelijke fout van 5%
- Afronden tot drie beduidende cijfers geeft een maximale mogelijke fout van 0,5%
- Afronden tot vier beduidende cijfers geeft een maximale mogelijke fout van 0,05%
- Afronden tot vijf beduidende cijfers geeft een maximale mogelijke fout van 0,005%

### Nullen rechts van een getal.

Extra nullen helemaal rechts van een getal zijn dus wel degelijk beduidende cijfers die je niet zomaar kan weglaten. Door zo een nul uitdrukkelijk te noteren, geef je namelijk aan dat het getal met een bepaalde nauwkeurigheid genoteerd. Bijvoorbeeld:

- 12,5 V is mogelijks afronding liggend tussen 12,45 V en 12,54V (maximale fout 0,05V)
- 12,50 V is mogelijks afronding liggend tussen 12,495 V en 12,504V (maximale fout 0,005V)

### Gebruik van voorvoegsels.

Hoe kan je nu best getallen noteren voor deze cursus:

- Maak gebruik van 4 beduidende cijfers.
- Gebruik niet meer dan 3 cijfers voor de komma
- Gebruik niet meer dan 3 cijfers na de komma

$$1234 \text{ V} = 1,234 \text{ kV}$$

$$0,0254 \text{ V} = 25,40 \text{ mV}$$

$$0,0005563 \text{ A} = 556,3 \mu\text{A}$$

$$8995,3 \text{ kV} = 8,995 \text{ MV}$$

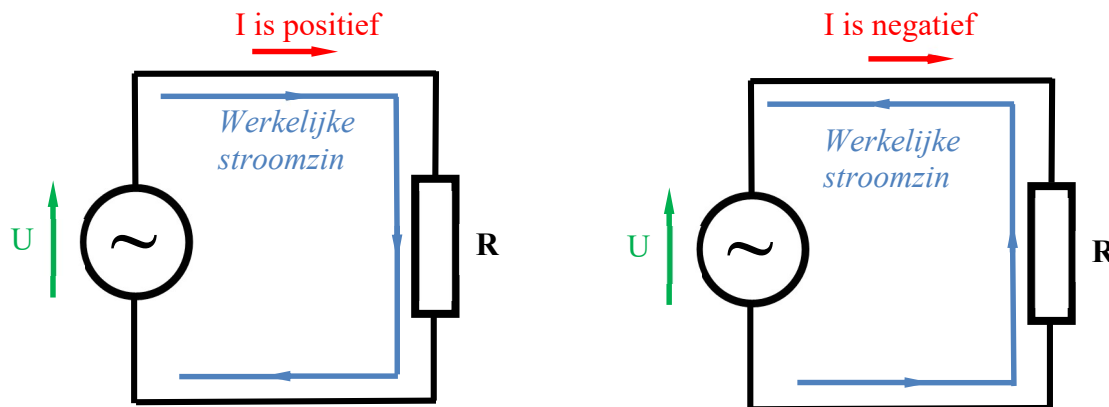
# Hoofdstuk 1: Basisbegrippen

## 1.1. Wisselstroom.

Een **wisselstroom** is een stroom die het ene moment in de ene richting loopt en een ander ogenblik later in de andere richting. De stroomzin is dus niet steeds dezelfde. Om eenduidig aan te kunnen geven hoe de werkelijke stroomzin op een bepaald moment is, is de keuze van een referentiezin (aangegeven door de stroompijl) absoluut noodzakelijk.

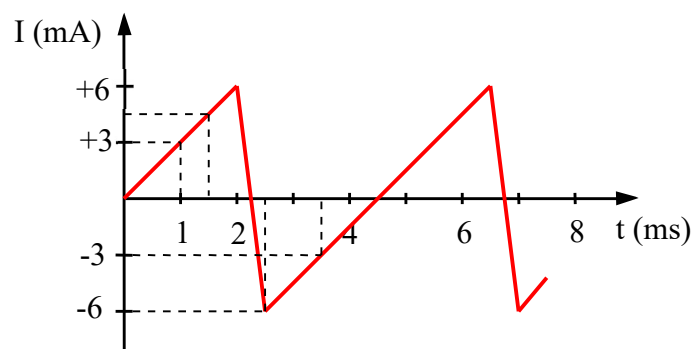
- Als de stroom in de richting van de referentiepijl stroomt, krijgt de stroom een positieve getalwaarde.
- Als de stroom in werkelijkheid anders stroomt dan aangegeven door de referentiepijl, dan krijgt de stroom een negatieve getalwaarde.

Een wisselstroom neemt dus afwisselend positieve en negatieve waarden aan. Op deze figuren is de werkelijke *technische* stroomzin aangegeven met een pijl op de geleider.

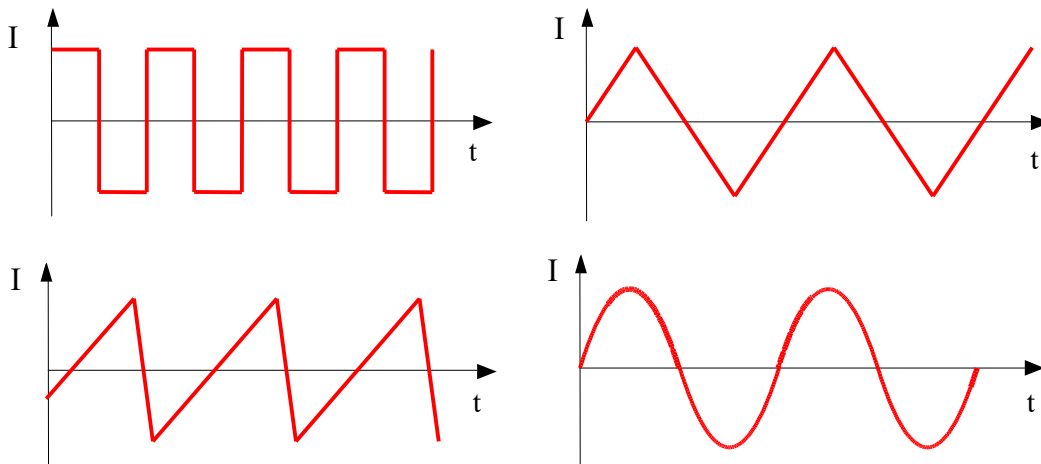


Niet enkel de polariteit, maar ook de sterkte van de stroom kan veranderen. Het **tijdsverloop** is een grafiek die van moment tot moment toont hoe de stroomsterkte en de polariteit verandert.

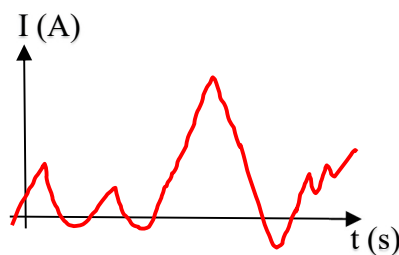
- De snijpunten met de tijdas, de zogenaamde **nulpunten**, zijn de momenten waarop de stroomwaarde nul is.
- Tijdens de stukken van de grafiek boven de tijdas is de stroomwaarde positief en stroomt de stroom in de zin van de referentiepijl.
- Tijdens de stukken onder de tijdas is de waarde negatief en stroomt de stroom tegengesteld aan de referentiepijl.



Het komt vaak voor dat er in het tijdsverloop een herkenbaar patroon terugkomt. In onderstaande figuren zien we een aantal voorbeelden van belangrijke **standaardvormen**, respectievelijk blokgolf, driehoekgolf, zaagtandgolf en sinusgolf.



Natuurlijk kan het ook voorvallen dat er geen echt herkenbaar patroon in het tijdsverloop zit. We spreken dan van een willekeurig veranderlijke stroom.



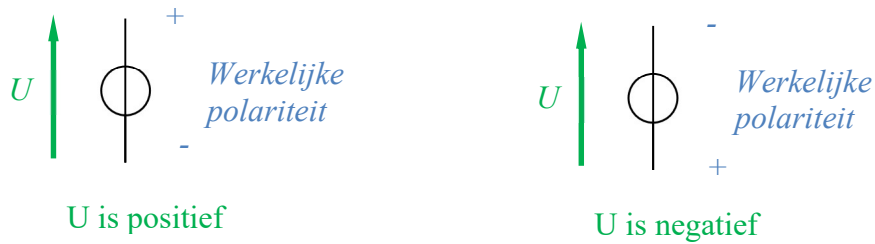
## **1.2. Wisselspanning.**

De **spanningen** die wisselstromen opwekken, zijn **wisselspanningen**. Concreet wil dit zeggen dat de polariteit op bepaalde ogenblikken omkeert. Een zelfde klem van een bron of van een verbruiker zal dus afwisselend positief en negatief gepolariseerd zijn t.o.v. de andere klem. Aan de klemmen van een wisselspanningsbron kunnen we dus geen vaste polariteit meer toekennen zoals we dat bij een DC-spanning wel kunnen.

Ook hier is de keuze van een referentiepolariteit (spanningspijl) absoluut noodzakelijk om de werkelijke polariteit op een bepaald moment aan te kunnen geven.

- Als de werkelijke polariteit van de klemmen op een bepaald moment overeenkomt met de gekozen referentiezin, dan krijgt de spanning een positieve getalwaarde.
- Als de werkelijke polariteit op een bepaald moment tegengesteld is aan de gekozen referentiezin, dan krijgt de spanning een negatieve getalwaarde.

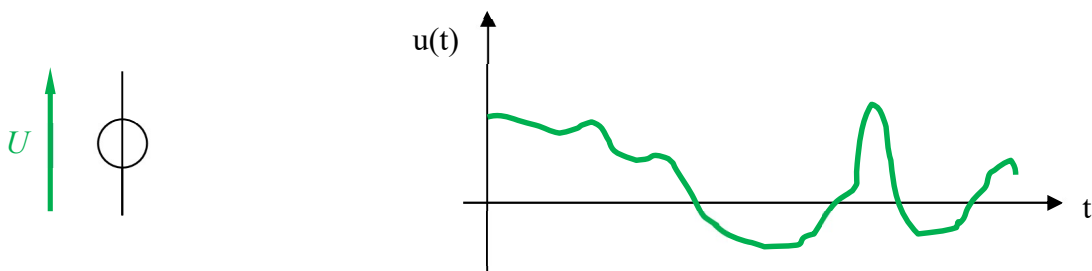
Een wisselspanning zal dus afwisselend positieve en negatieve getalwaarden kennen. Volgende figuren verduidelijken dit.



*Het gebruikte symbool is het algemeen symbool van een spanningsbron.*

Het tijdsverloop van een spanning is een grafiek die van moment tot moment toont hoe de grootte en de polariteit van de spanning verandert. Volgend voorbeeld toont een willekeurige verlopende spanning.

- Tijdens de stukken boven de tijdas heeft de spanning een positieve getalwaarde.
- Tijdens de stukken onder de tijdas, heeft de spanning een negatieve getalwaarde.
- Merk op dat het tijdsverloop slechts eenduidig kan geïnterpreteerd worden als de spanningspijl gedefinieerd is. Keuze van een spanningspijl en het tijdsverloop gaan dus onvermijdelijk samen. Dat geldt natuurlijk ook voor stromen.



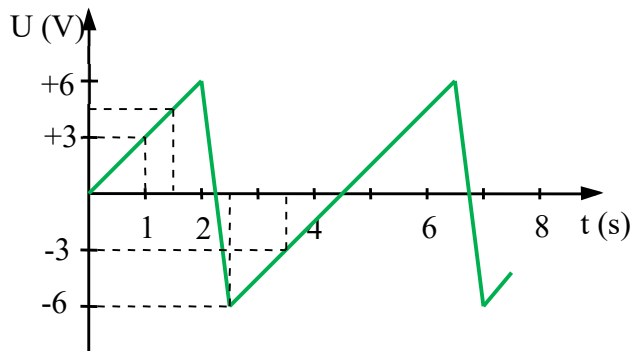
Opmerking:

*Een manier om zich een spanningsverloop gemakkelijkste voor te stellen is als volgt. Denk je in dat de klem waar de referentiepijl vertrekt verbonden is met de massa. De potentiaal van deze klem is dus per afspraak 0V en dit komt dan overeen met de horizontale as in de grafiek. De evolutie van de potentiaal van de andere klem wordt dan voorgesteld door het tijdsverloop.*

### **1.3. Ogenblikkelijke waarde $U_t$ [V].**

Bij een wisselspanning of -stroom verandert de waarde van moment tot moment. De waarde op een bepaald specifiek moment noemt men de **ogenblikkelijke waarde**. Deze geven we aan met  **$u(t)$**  en  **$i(t)$**  of kortweg  **$u$**  en  **$i$** . Een voorbeeld maak dit duidelijk.

*Kleine letters in de notatie duiden op het feit dat de waarde van de grootte veranderlijk is. Grote letters duiden op een constante waarde.*

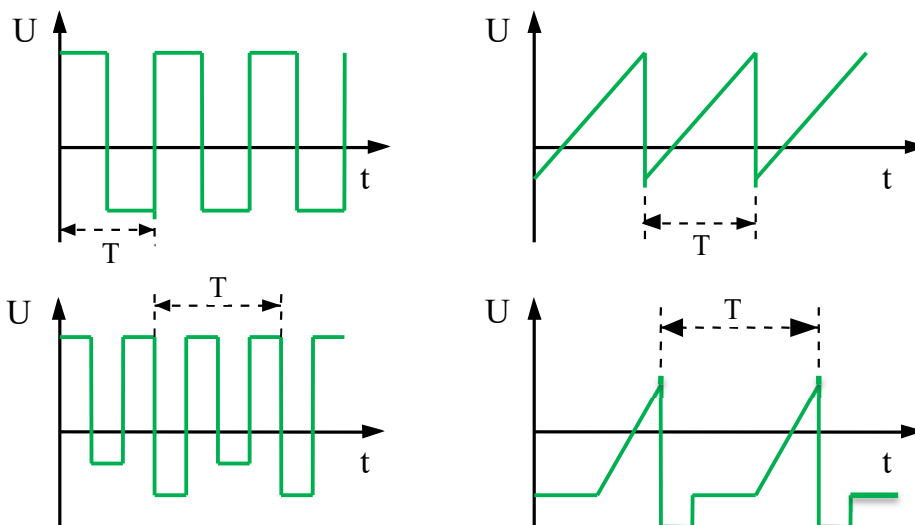


In de figuur zijn volgende ogenblikkelijke spanningswaarden aangegeven:

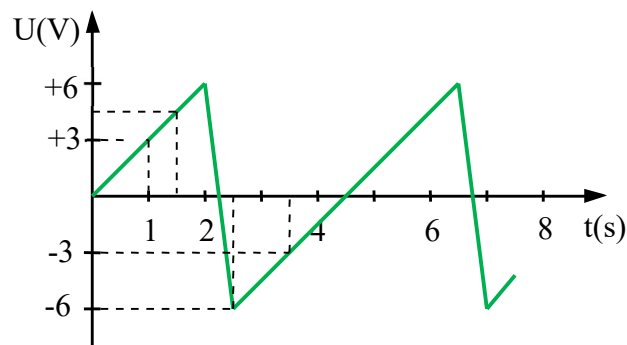
$t[s]$	$u[t]$ in V
1	+3
1,5	+4,5
2,25	0
2,5	-6
3,5	-3
4,5	0

### 1.4. Periode T[s].

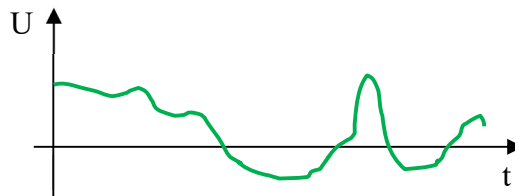
Wanneer men in het tijdsverloop een herkenbaar patroon steeds ziet terugkomen, noemt men deze spanning of stroom **periodiek**. Het kleinste stuk dat zich **steeds weer op dezelfde wijze herhaalt**, noemt men een **periode**. De tijd nodig om één periode te doorlopen heet de **periodes-tijd** of kortweg **periode T** en wordt uitgedrukt in seconden. Om dit op de grafiek aan te duiden, kiest men best een gemakkelijk herkenbaar beginpunt, meestal een nulpunt, en gebruikt men de letter T.



De periodes-tijd T is gemakkelijk af te leiden als men het tijdsverloop kent. In onderstaand voorbeeld is  $T = 4,5s$ .



Wanneer er geen herhalend patroon voorkomt, noemen we dit een willekeurig verlopende of **aperiodieke** wisselspanning of -stroom.



### **1.5. Frequentie f[Hz].**

Het aantal perioden dat voorkomt in één seconde noemt men de **frequentie f** en wordt uitgedrukt in Hertz (Hz = 1/s). Er geldt:

$$f = \frac{1}{T}$$

*Voorbeeld:* Eén periode duurt 10ms, dus  $T = 10\text{ms} = 0,01\text{s}$ .

De frequentie is dus  $f = 1/0,01\text{s} = 100\text{Hz}$ .

In 1 seconde (= 1000ms) zijn er inderdaad 100 perioden van 10ms

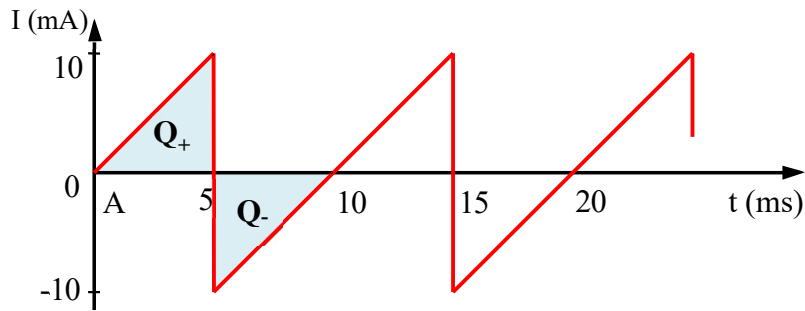
De frequentie van een wisselspanning of -stroom is een zeer belangrijk gegeven. Een aantal praktijkwaarden van frequenties zijn:

<i>Wisselspanningsnet:</i>	50 Hz (Europa)	60 Hz (Amerika)
<i>Spoorwegen:</i>	16 <sup>2/3</sup> Hz (Duitsland)	25 Hz (Frankrijk)
<i>Geluidswaargave:</i>	20 Hz ... 20 kHz	
<i>Hoogfrequentietechniek:</i>	100kHz ... 10GHz	

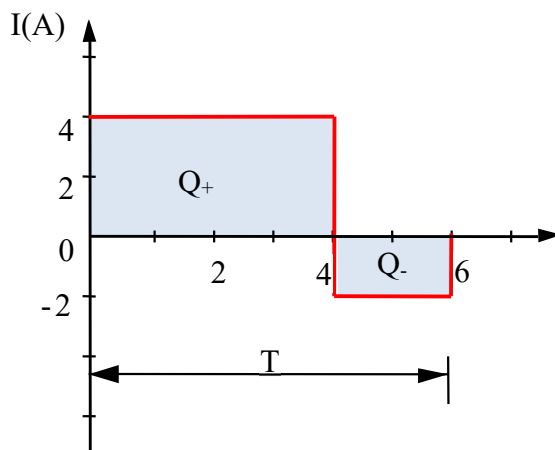
### **1.6. Gemiddelde stroom I<sub>g</sub>[A].**

Bij een wisselstroom stroomt er in de kring lading Q dan weer de ene, dan weer de andere kant op. We kunnen ons nu afvragen wat de gemiddelde waarde is.

- Een eerder speciaal geval is dat er evenveel lading heenstroomt als terugstroomt. Er is dan geen nettoverplaatsing van lading gebeurd. We zeggen dan dat de gemiddelde waarde I<sub>g</sub> van de stroom nul is. Volgende figuur toont dit voor een symmetrische zaagtandspanning. De heenstromende lading in één periode Q<sub>+</sub> wordt voorgesteld door de oppervlakte boven de tijdas. De terugstromende lading in één periode Q<sub>-</sub> wordt voorgesteld door de oppervlakte onder de tijdas. Aangezien voor elke periode beide oppervlakten gelijk zijn, stroomt er per periode evenveel lading heen als terug. De elektronen verplaatsen zich gemiddeld dus niet in de kring, maar gaan enkel heen en weer. De gemiddelde waarde van de stroom is dus nul, I<sub>g</sub> = 0.



- De gemiddelde stroomwaarde is niet altijd nul. Volgend voorbeeld toont een voorbeeld van een niet symmetrische blokvormige stroom. De lading gaat nog steeds heen en weer (wisselstroom), maar er stroomt tijdens een periode  $T$  meer lading in positieve zin dan in negatieve zin.



Voor één periode  $T = 6$  s geldt:

$$Q_+ = I \cdot t = 4 \text{ C/s} \times 4 \text{ s} = 16 \text{ C}$$

$$Q_- = I \cdot t = 2 \text{ C/s} \times 2 \text{ s} = 4 \text{ C}$$

De gemiddelde ladingsverplaatsing per periode is dus:

$$Q_g = Q_+ - Q_- = 16 \text{ C} - 4 \text{ C} = 12 \text{ C}$$

Dit komt gemiddeld overeen met een positieve gelijkstroom van:

$$I = \frac{Q}{T} = 2 \text{ A} \quad (12 \text{ C per 6 seconden}).$$

#### Intrinsieke betekenis van gemiddelde waarde.

Er is een meer inzichtelijke betekenis van de gemiddelde stroomwaarde  $I_g$ . Het is namelijk de waarde die een **constante gelijkstroom** moet hebben om in **dezelfde tijd evenveel netto lading te verplaatsen** als de gegeven wisselstroom. Dit werd ook in het voorbeeld hierboven berekend.

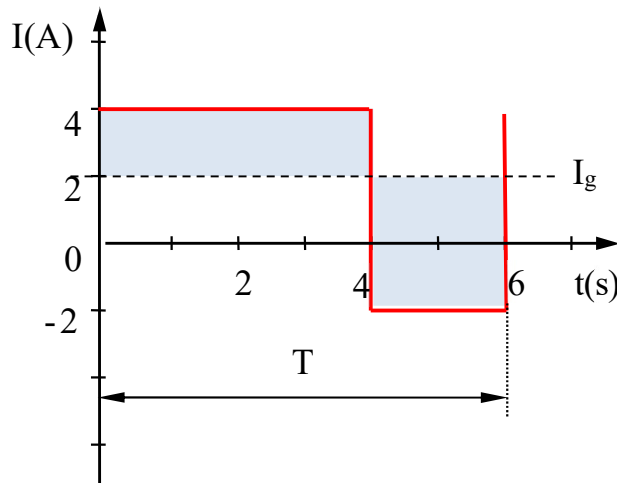
Voor periodieke stromen berekent men  $I_g$  over één periode:

$$I_g = \frac{Q_+ - Q_-}{T}$$

#### Grafische bepaling van de gemiddelde waarde.

Op het tijdsverloop van de stroom zal de gemiddelde waarde  $I_g$  van een periodieke stroom twee oppervlaktes per periode afbakenen. Het is steeds zo dat de oppervlakte boven  $I_g$  **net even groot** is als die onder  $I_g$ . Dit maakt het mogelijk om visueel snel een inschatting van de gemiddelde

waarde te maken. Men zoekt daarvoor een horizontale lijn die de grafiek in twee gelijke oppervlaktes boven en onder de lijn opdeelt.



*Per periode is de oppervlakte boven  $I_g$  steeds even groot als de oppervlakte onder  $I_g$ .*

### 1.7. Gemiddelde spanning $U_g$ [V].

Aan de gemiddelde waarde van een wisselspanning  $U_g$  kan men niet zomaar een eenvoudige inzichtelijke betekenis geven zoals aan  $I_g$ . De gemiddelde spanningswaarde is dus eerder een abstract (wiskundig) begrip. Toch kan men de manier waarop ze wiskundig en grafisch bepaald wordt zonder meer overnemen.

### 1.8. Stroom- en spanningssoorten.

Op basis van het specifieke tijdsverloop van een spanning of stroom, kan men spanningen en stromen ook naar *soort* indelen. We onderscheiden:

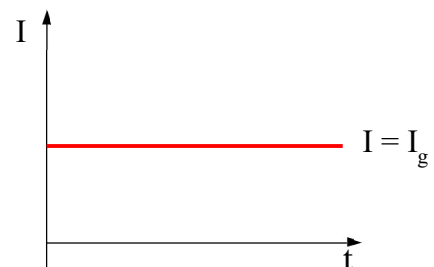
- Zuivere gelijkstroom en zuivere gelijkspanning
- Zuivere wisselstroom en zuivere wisselspanning
- Pulserende gelijkstroom en pulserende gelijkspanning
- Onzuivere wisselstroom en onzuivere wisselspanning

#### Zuivere gelijkstroom of –spanning

De waarde is op elk moment dezelfde. Dit is dan ook de gemiddelde waarde.

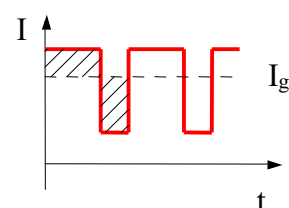
$$i(t) = I = \text{constant} = I_g$$

$$u(t) = U = \text{constant} = U_g$$



#### Veranderlijke gelijkstroom of –spanning

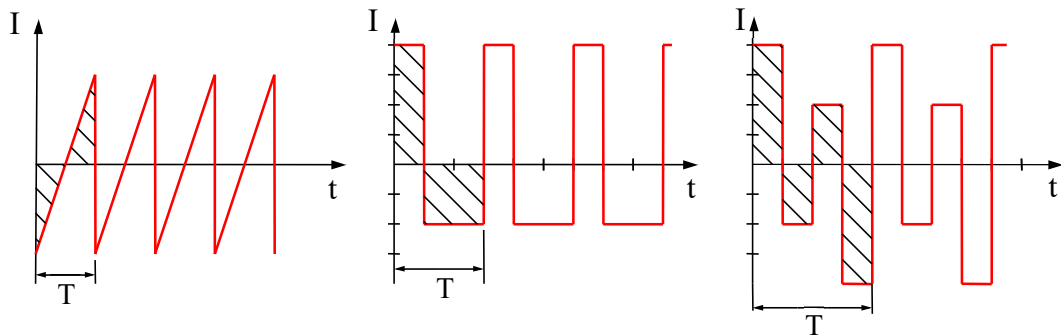
De getalwaarde verandert, maar de polariteit niet. De gemiddelde waarde kan positief of negatief zijn.



Zuivere wisselstroom of -spanning

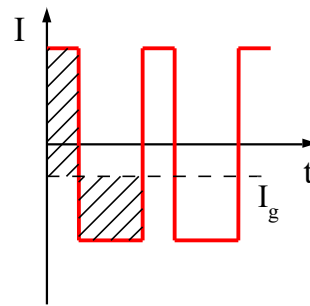
De polariteit verandert en de gemiddelde waarde is nul. De oppervlakten boven en onder de tijdas zijn per periode dus steeds gelijk.

$$I_g = 0A \quad U_g = 0V$$



Onzuivere wisselstroom of -spanning

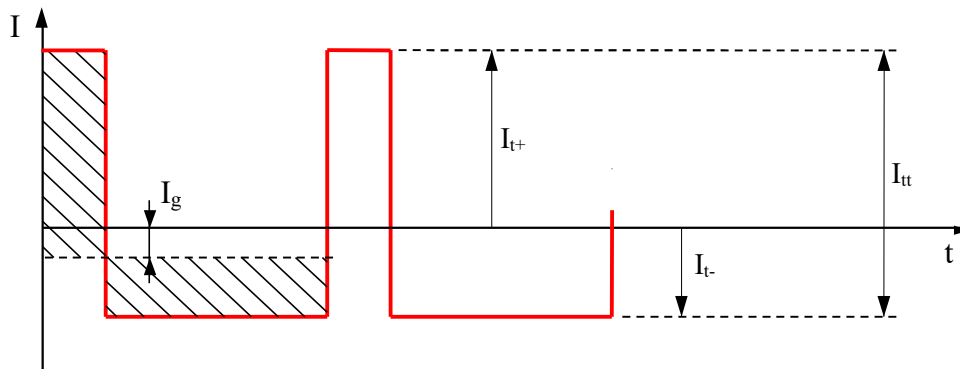
De polariteit verandert en de gemiddelde waarde is niet gelijk aan nul. De gemiddelde waarde kan positief of negatief zijn.

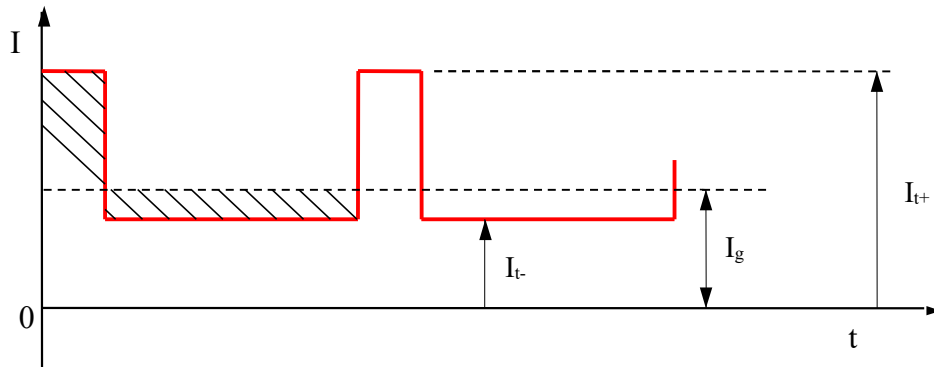


De zojuist opgesomde *stroomsoorten* worden vaak veroorzaakt door overeenkomstige spanningssoorten. In alle figuren hierboven kunnen we de stroom I dan ook vervangen door een spanning U.

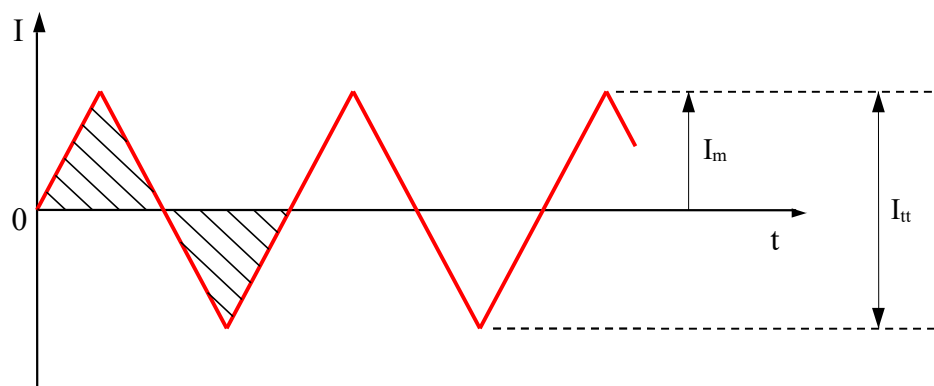
**1.9. Topwaarde  $U_t[V]$ , top-top waarde  $U_{tt}[V]$  en amplitude  $U_m[V]$ .**

De **maximale waarde of topwaarde** van een veranderlijke stroom of spanning is de uiterste waarde die bereikt wordt. Deze kan verschillend zijn in positieve en negatieve zin. Als symbolen gebruiken we  $U_{t+} / I_{t+}$  en  $U_{t-} / I_{t-}$ . Het verschil tussen de maximale en de minimale waarde noemen we de **top-top waarde**  $I_{tt}/U_{tt}$  of  $I_{pp}/U_{pp}$  (Engels: peak to peak). Volgende figuren tonen dit telkens voor een stroom. Voor spanningen geldt natuurlijk hetzelfde.





Bij een zuivere wisselspanning of -stroom zijn de maximale waarden in positieve en negatieve zin even groot. We spreken dan eerder van **amplitude** en noteren dit als  $U_m$  en  $I_m$ .



### **1.10. De effectieve waarden U[V] en I[A].**

Wanneer we een weerstand aansluiten op een zuivere gelijkspanning, ontwikkelt zich een bepaald vermogen (warmte).

$$P = U * I = \frac{U^2}{R} = I^2 * R$$

Bij wisselspanning veranderen spanning en stroom echter voortdurend. Willen we **voor een periodieke wisselstroom dezelfde eenvoudige formules** voor het vermogen gebruiken, dan is het de vraag welke waarde we voor U en I in deze formules moeten invullen.

- Niet de topwaarden  $U_t$  en  $I_t$ , want die geven een te hoog resultaat.
- Niet de gemiddelde waarden  $U_g$  en  $I_g$ , die geven vaak een te laag resultaat.

De waarden die we moeten invullen, noemen we de **effectieve waarden U en I** en worden **wiskundig berekend**. De effectieve waarde van een wisselspanning of -stroom is dus ook de waarde van een constante gelijkspanning of -stroom die in dezelfde weerstand **hetzelfde gemiddeld vermogen** ontwikkelt.

Belang.

De effectieve waarden  $U$  en  $I$  zijn in technische zin de belangrijkste parameters van een wisselspanning of stroom, zeker bij energiedistributie. Daarom zijn het de waarden waarmee men in de praktijk het meeste werkt. Zo zal men spreken van een wisselspanning van 230V of een stroom van 3A, waarmee men de effectieve waarde bedoelt. Gewone volt- en ampèremeters geven (voor een sinusoïdale wisselspanning) dus steeds de effectieve waarde aan. Natuurlijk bestaan er ook specifieke meters, zoals een gemiddelde waarde meter of een topwaarde meter, maar deze zijn minder courant. Effectieve waarden worden ook **RMS-waarden** genoemd (van het Engelse “Root Mean Square” wat verwijst naar de wiskundige berekening van de effectieve waarde) en worden meestal **genoteerd als  $U$  en  $I$** . Soms worden ze echter ook wel genoteerd als  $U_{\text{eff}}$  en  $I_{\text{eff}}$  of  $U_{\text{RMS}}$  en  $I_{\text{RMS}}$ .

**1.11. Oefeningen.**

1.
  - a) De frequentie van de wisselspanning van ons lichtnet bedraagt 50Hz. Hoe lang duurt één periode van de netspanning?
  - b) Een bepaalde radiozender in het middengolfgebied zendt uit op een frequentie van 1251kHz. Bereken de periodetijd.
  - c) De interne klok van een computer levert een blokvormige pulserende gelijkspanning. Van een bepaalde computer bedraagt de periodetijd hiervan 16,7ns. Bereken de klokfrequentie van deze computer.
  
2. In volgende figuren is steeds één periode volledig weergegeven.
  - a) Bepaal de grootte van de heengaande en die van de teruggaande lading.
  - b) Bereken hieruit de gemiddelde waarde van de stroomsterkte.
  - c) Teken de gemiddelde waarde in de grafiek door middel van een streeplijn.

