



2023

5. Wisselstroom (AC) vs. Gelijkstroom (DC)

R2: SCRAPY-gids

Projectnummer: **2021-1-FR01-KA220-SCH-000031617**



 Co-funded by
the European Union

De steun van de Europese Commissie voor de productie van deze publicatie houdt geen goedkeuring in van de inhoud, die uitsluitend de standpunten van de auteurs weergeeft, en de Commissie kan niet verantwoordelijk worden gehouden voor het gebruik van de informatie die erin is vervat.

ECAM EPMI
30/04/2023

Inhoudsopgave

1 Inleiding.....	2
2 Wisselstroom (AC)	2
2.1 Golfvormen	3
2.2 Een sinusgolf beschrijven	4
2.3 Toepassingen	6
3. Gelijkstroom (DC).....	6
3.1 DC beschrijven	6
3.2 Toepassingen	7
4. Strijd van de stromingen	7
4.1 Edisons lastercampagne.....	9
4.2 De opkomst van AC	9
4.3 Hoogspanningsgelijkstroom (HVDC).....	10
5 Conclusie	10

1 Inleiding

Zowel AC als DC beschrijven de soorten stroom in een circuit. Bij gelijkstroom (DC) stroomt de elektrische lading (stroom) slechts in één richting. Bij wisselstroom (AC) daarentegen verandert de elektrische lading periodiek van richting. De spanning in wisselstroomcircuits keert ook periodiek om omdat de stroom van richting verandert.

De meeste digitale elektronica die je bouwt maakt gebruik van gelijkstroom. Het is echter belangrijk om enkele AC-concepten te begrijpen. De meeste huizen zijn aangesloten op wisselstroom.

Wat je zult leren:

- De geschiedenis achter AC en DC
- Verschillende manieren om AC en DC te genereren

Enkele voorbeelden van AC- en DC-toepassingen

2 Wisselstroom (AC)

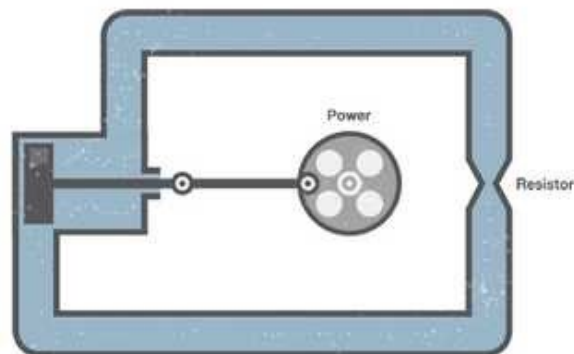
Wisselstroom beschrijft de stroom van lading die periodiek van richting verandert. Als gevolg hiervan wisselt ook het spanningsniveau samen met de stroom. Wisselstroom wordt gebruikt om stroom te leveren aan huizen, kantoorgebouwen, enz.

AC genereren

Wisselstroom kan worden geproduceerd met behulp van een apparaat dat een alternator wordt genoemd. Dit apparaat is een speciaal type elektrische generator die is ontworpen om wisselstroom te produceren.

Een lus van draad wordt rondgedraaid binnen een magnetisch veld, dat een stroom induceert langs de draad. De rotatie van de draad kan op verschillende manieren worden veroorzaakt: een windturbine, een stoomturbine, stromend water, enzovoort. Omdat de draad ronddraait en periodiek een andere magnetische polariteit binnengaat, wisselen spanning en stroom elkaar af op de draad.

Alternating Current: The Water Analogy

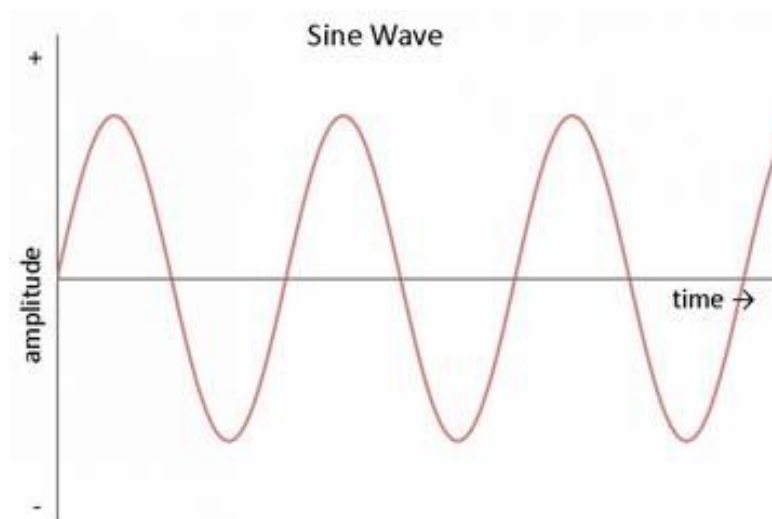


Wisselstroom

Om wisselstroom op te wekken in een set waterpijpen, sluiten we een mechanische slinger aan op een zuiger die het water in de pijpen heen en weer beweegt (onze "wisselstroom"). Merk op dat het geknepen deel van de pijp nog steeds weerstand biedt tegen de waterstroom, ongeacht de stroomrichting.

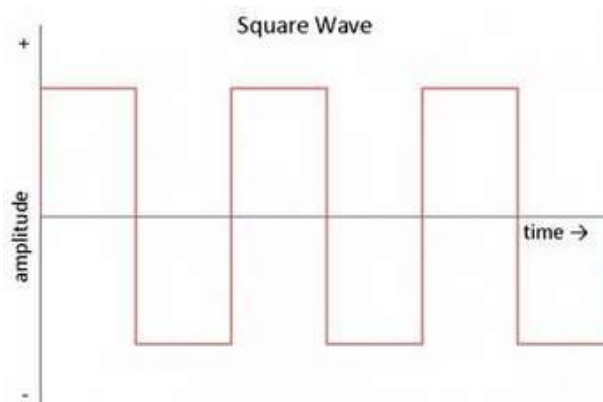
2.1 Golfvormen

Wisselstroom kan in verschillende vormen voorkomen, zolang de spanning en stroom maar afwisselend zijn. Als we een oscilloscoop aansluiten op een circuit met wisselstroom en de spanning in de tijd uitzetten, kunnen we verschillende golfvormen zien. Het meest voorkomende type wisselstroom is de sinusgolf. De wisselstroom in de meeste huizen en kantoren heeft een oscillerende spanning die een sinusgolf produceert.



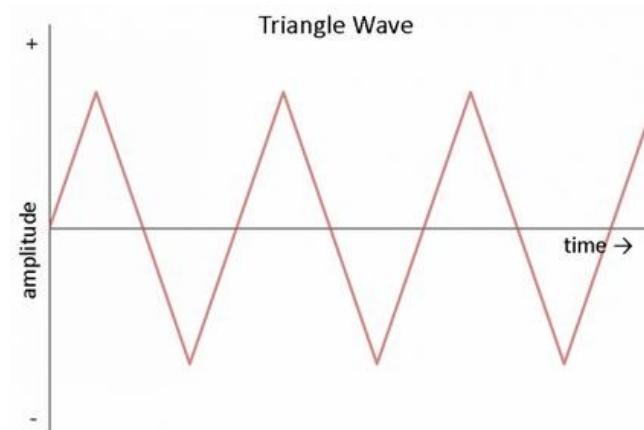
Sinusgolf

Andere veel voorkomende vormen van wisselstroom zijn de blokgolf en de driehoeksgolf:



Vierkante golf

Vierkante golven worden vaak gebruikt in digitale en schakelelektronica om de werking ervan te testen.



Driehoeksgolf

Driehoeksgolven komen voor in geluidssynthese en zijn handig voor het testen van lineaire elektronica zoals versterkers.

2.2 Een sinusgolf beschrijven

We willen vaak een AC golfvorm in wiskundige termen beschrijven. Voor dit voorbeeld gebruiken we de gewone sinusgolf. Een sinus bestaat uit drie delen: *amplitude*, *frequentie* en *fase*.

Als we alleen naar de spanning kijken, kunnen we een sinus beschrijven als de wiskundige functie:

$$V(t) = V_P \sin(2\pi ft + \phi)$$

$V(t)$ is onze spanning als functie van de tijd, wat betekent dat onze spanning verandert als de tijd verandert. De vergelijking rechts van het gelijkheidsteken beschrijft hoe de spanning in de tijd verandert.

V_P is de *amplitude*. Dit beschrijft de maximale spanning die onze sinus in beide richtingen kan bereiken, wat betekent dat onze spanning $+V_P$ volt, $-V_P$ volt of ergens daartussenin kan zijn.

De functie **sin ()** geeft aan dat onze spanning de vorm zal hebben van een periodieke sinus, wat een vloeiende oscillatie rond 0V is.

2π is een constante die de frequentie omzet van cycli (in hertz) naar hoekfrequentie (radialen per seconde).

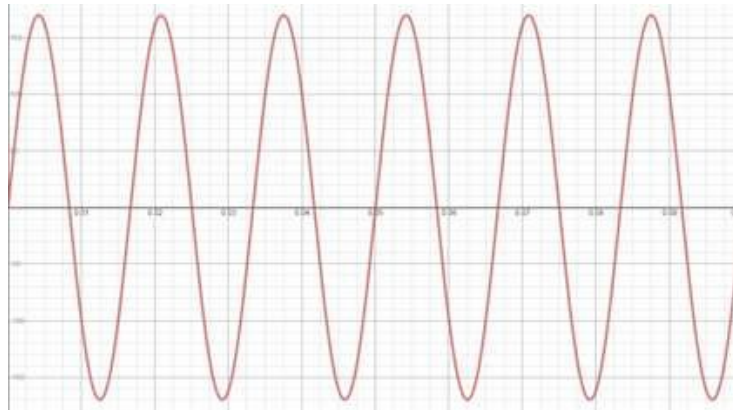
f beschrijft de *frequentie* van de sinusgolf. Deze wordt gegeven in de vorm van een *hertz* of *eenheden per seconde*. De frequentie vertelt hoe vaak een bepaalde golfvorm (in dit geval een cyclus van onze sinus - een stijging en een daling) voorkomt binnen één seconde.

t is onze onafhankelijke variabele: tijd (gemeten in seconden). Als de tijd varieert, varieert onze golfvorm.

ϕ beschrijft de *fase* van de sinusgolf. Fase is een maat voor de verschuiving van de golfvorm in de tijd. Het wordt vaak gegeven als een getal tussen 0 en 360 en gemeten in graden. Vanwege de periodieke aard van de sinus wordt een verschuiving van 360° dezelfde golfvorm als een verschuiving van 0° . Om het eenvoudig te houden, zullen we voor de rest van deze tutorial aannemen dat de fase 0° is. We kunnen ons vertrouwde stopcontact gebruiken voor een goed voorbeeld van hoe een AC-golfvorm werkt. In de Verenigde Staten is de stroom die onze huizen ontvangt wisselstroom met ongeveer 170 V nul-tot-piek (amplitude) en 60 Hz (frequentie). We kunnen deze getallen in onze formule stoppen om de vergelijking te krijgen (vergeet niet dat we ervan uitgaan dat onze fase 0 is):

$$V(t) = 170 \sin(2\pi 60t)$$

We kunnen onze handige grafische rekenmachine gebruiken om deze vergelijking te tekenen. Als er geen grafische rekenmachine beschikbaar is, kunnen we een gratis online grafiekprogramma zoals [Desmos](#) gebruiken (merk op dat je misschien 'y' moet gebruiken in plaats van 'V' in de vergelijking om de grafiek te zien).



De vergelijking Grafiek

Merk op dat, zoals we voorspeld hadden, de spanning periodiek stijgt naar 170V en daalt naar -170V. Bovendien vinden er elke seconde 60 cycli van de sinus plaats. Als we de spanning in onze stopcontacten zouden meten met een oscilloscoop, is dit wat we zouden zien (**WAARSCHUWING:** probeer niet de spanning in een stopcontact te meten met een oscilloscoop! Dit zal de apparatuur beschadigen).

OPMERKING: Je hebt misschien gehoord dat AC voltage in de VS 120V is. Dit klopt ook. Hoe? Wanneer we het over wisselspanning hebben (omdat de spanning constant verandert), is het vaak eenvoudiger om een gemiddelde te gebruiken. Om dat te bereiken, gebruiken we een methode die "[Root mean squared](#)" ([gemiddelde kwadraat](#)) wordt genoemd. (RMS). Het is vaak handig om de RMS-waarde voor AC te gebruiken wanneer je **elektrisch vermogen** wilt berekenen. Hoewel in ons voorbeeld de spanning varieert van -170V tot 170V, is het RMS-gemiddelde 120V.

2.3 Toepassingen

Stopcontacten thuis en op kantoor hebben altijd wisselstroom. Dit komt omdat het opwekken en transporteren van wisselstroom over lange afstanden eenvoudig is. Bij hoge spanningen (meer dan 110 kV) gaat er minder energie verloren bij de transmissie van elektrische energie. Hogere spanningen betekenen lagere stromen en lagere stromen betekenen minder warmteontwikkeling in de elektriciteitsleiding door weerstand. AC kan gemakkelijk worden omgezet van en naar hoge spanningen met behulp van transformatoren.

AC kan ook elektromotoren aandrijven. Motoren en generatoren zijn dezelfde apparaten, maar motoren zetten elektrische energie om in mechanische energie (als de as van een motor ronddraait, wordt er een spanning gegenereerd op de klemmen!) Dit is handig voor veel grote apparaten zoals vaatwassers, koelkasten, enzovoort, die op wisselstroom werken.

3. Gelijkstroom (DC)

Gelijkstroom is iets eenvoudiger te begrijpen dan wisselstroom. In plaats van heen en weer te schommelen, levert gelijkstroom een constante spanning of stroom.

DC genereren

DC kan op verschillende manieren worden opgewekt:

- Een wisselstroomgenerator die is uitgerust met een apparaat dat een "commutator" wordt genoemd, kan gelijkstroom produceren
- Gebruik van een apparaat met de naam "gelijkrichter" dat wisselstroom omzet in gelijkstroom
- Batterijen leveren gelijkstroom, die wordt gegenereerd door een chemische reactie in de batterij

Als we onze wateranalogie nog eens gebruiken, is DC vergelijkbaar met een watertank met een slang aan het uiteinde.



Water Analogie

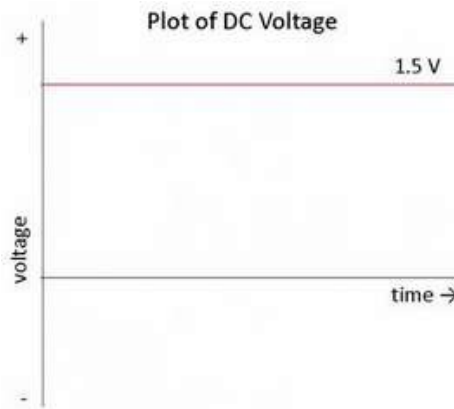
De tank kan water maar één kant op stuwen: de slang uit. Net als bij onze batterij die gelijkstroom produceert, stroomt er geen water meer door de leidingen zodra de tank leeg is.

3.1 DC beschrijven

Gelijkstroom wordt gedefinieerd als de "eenrichtings" stroom; stroom vloeit slechts in één richting. Spanning en stroom kunnen variëren in de tijd zolang de stroomrichting niet verandert. Om de zaken te vereenvoudigen, nemen we aan dat de spanning constant is.

We nemen bijvoorbeeld aan dat een AA-batterij 1,5V levert, wat in wiskundige termen kan worden beschreven als:

Als we dit uitzetten in de tijd, zien we een constante spanning: $V(t) = 1.5V$



De plot van DC-spanning

Wat betekent dit? Het betekent dat we erop kunnen rekenen dat de meeste gelijkstroombronnen na verloop van tijd een constante spanning leveren. In werkelijkheid verliest een batterij langzaam zijn lading, wat betekent dat de spanning daalt als de batterij wordt gebruikt. Voor de meeste doeleinden kunnen we aannemen dat de spanning constant is.

3.2 Toepassingen

Alle elektronica projecten en onderdelen die te koop zijn op SparkFun werken op DC. Alles dat werkt op een batterij, in het stopcontact zit met een [AC adapter](#), of een USB kabel gebruikt voor stroom, werkt op DC. Voorbeelden van DC elektronica zijn:

- Mobiele telefoons
- De op LilyPad gebaseerde D&D Dice Gauntlet
- Flatscreen-tv's (wisselstroom gaat naar de tv, die wordt omgezet in gelijkstroom)
- Zaklampen
- Hybride en elektrische voertuigen

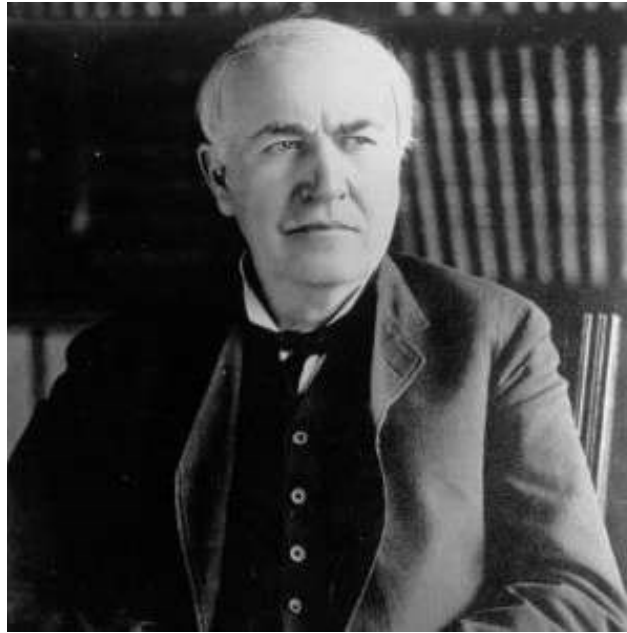
4. Strijd van de stromingen

Elk huis en bedrijf is aangesloten op AC. Dit was echter geen beslissing die van de ene op de andere dag werd genomen. Aan het eind van de jaren 1880 leidde een reeks

uitvindingen in de Verenigde Staten en Europa tot een grootschalige strijd tussen wisselstroom- en gelijkstroomdistributie.

In 1886 elektriseerde Ganz Works, een elektriciteitsbedrijf in Boedapest, heel Rome met wisselstroom. Thomas Edison daarentegen had in 1887 121 gelijkstroomcentrales gebouwd in de Verenigde Staten. Een keerpunt in de strijd kwam toen George Westinghouse, een beroemde industrieel uit Pittsburgh, het jaar daarop Nikola Tesla's patenten voor wisselstroommotoren en transmissie kocht.

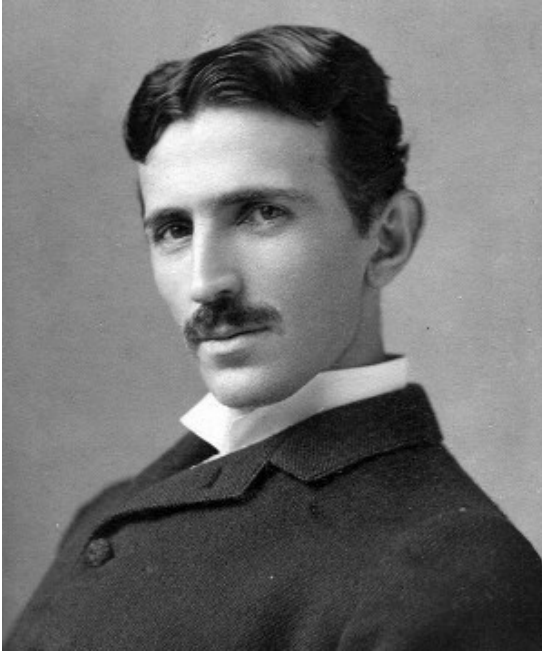
AC vs. DC



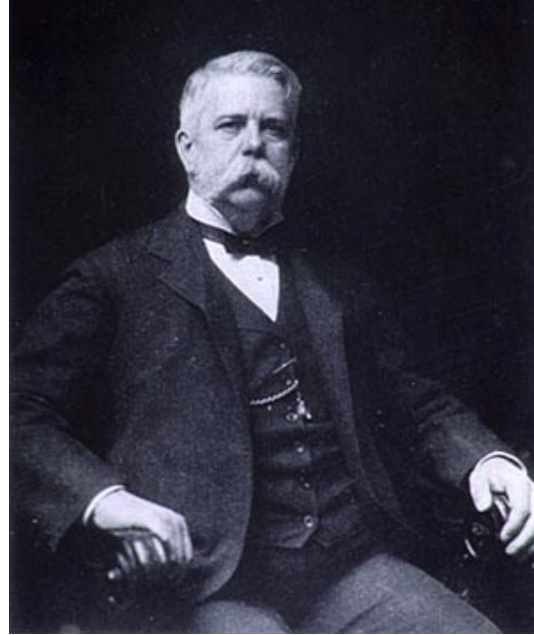
Thomas Edison (Afbeelding met dank aan biography.com)

Aan het einde van de 19e eeuw kon gelijkstroom niet gemakkelijk worden omgezet in hoge spanningen. Daarom stelde Edison een systeem van kleine, lokale elektriciteitscentrales voor die afzonderlijke wijken of stadsdelen van stroom voorzagen. De stroom werd verdeeld via drie draden vanuit de centrale: +110 volt, 0 volt en -110 volt. Lampen en motoren konden worden aangesloten tussen het +110V of 110V stopcontact en 0V (neutraal). Bij 110V was er wat spanningsverlies tussen de centrale en de belasting (huis, kantoor, enz.).

Ook al werd er rekening gehouden met de spanningsval over de elektriciteitsleidingen, toch moesten energiecentrales zich binnen 1 mijl van de eindgebruiker bevinden. Deze beperking maakte stroomdistributie in landelijke gebieden extreem moeilijk, zo niet onmogelijk.



Nikola Tesla
(Afbeelding met dank aan wikipedia.org)



George Westinghouse
(Afbeelding met dank aan pbs.org)

Met de patenten van Tesla werkte Westinghouse aan het perfectioneren van het AC-distributiesysteem. Transformatoren boden een goedkope methode om de spanning van wisselstroom op te voeren tot enkele duizenden volt en weer terug te brengen naar een bruikbaar niveau. Bij hogere spanningen kon hetzelfde vermogen met een veel lagere stroom worden verzonden, waardoor er minder vermogen verloren ging door de weerstand in de draden. Hierdoor konden grote elektriciteitscentrales vele kilometers verderop staan en een groter aantal mensen en gebouwen van stroom voorzien.

4.1 Edisons lastercampagne

In de daaropvolgende jaren voerde Edison een campagne om het gebruik van wisselstroom in de Verenigde Staten sterk te ontmoedigen, onder andere door te lobbyen bij staatswetgevers en door desinformatie over wisselstroom te verspreiden. Edison gaf ook verschillende technici opdracht om in het openbaar dieren te elektrocuteren met wisselstroom in een poging aan te tonen dat wisselstroom gevaarlijker was dan gelijkstroom. In een poging om deze gevaren aan te tonen, ontwierpen Harold P. Brown en Arthur Kennelly, werknemers van Edison, de eerste elektrische stoel voor de staat New York met wisselstroom.

4.2 De opkomst van AC

In 1891 werd de Internationale Elektrotechnische Tentoonstelling gehouden in Frankfurt, Duitsland. Hier werd de eerste langeafstandstransmissie van driedfasige wisselstroom getoond, waarmee lampen en motoren op de tentoonstelling werden aangedreven. Verschillende vertegenwoordigers van het latere General Electric waren aanwezig en

waren onder de indruk van de tentoonstelling. Het jaar daarop richtte General Electric zich op en begon te investeren in AC-technologie.

Westinghouse kreeg in 1893 een contract voor de bouw van een hydro-elektrische dam om de kracht van de Niagara Falls te benutten en wisselstroom naar Buffalo, NY, te transporteren. Het project werd voltooid op 16 november 1896 en de industrie in Buffalo begon met het leveren van wisselstroom. Deze mijlpaal markeerde het verval van gelijkstroom in de Verenigde Staten. Terwijl Europa een wisselstroomstandaard van 220-240 volt bij 50 Hz zou aannemen, zou de standaard in Noord-Amerika 120 volt bij 60 Hz worden.

4.3 Hoogspanningsgelijkstroom (HVDC)

De Zwitserse ingenieur René Thury gebruikte in de jaren 1880 een reeks motorgeneratoren om een hoogspanningsgelijkstroomstelsel te creëren waarmee gelijkstroom over lange afstanden kon worden getransporteerd. Vanwege de hoge kosten en het onderhoud van de Thury-systemen werd HVDC echter een eeuw lang niet toegepast.

Met de uitvinding van halfgeleiderelektronica in de jaren 1970 werd het mogelijk om economisch te transformeren tussen AC en DC. Gespecialiseerde apparatuur kon worden gebruikt om hoogspanningsgelijkstroom op te wekken (sommige tot 800 kV). Delen van Europa zijn begonnen met het gebruik van HVDC-lijnen om verschillende landen elektrisch met elkaar te verbinden.

HVDC-lijnen hebben minder verlies dan gelijkwaardige AC-lijnen over extreem lange afstanden. Bovendien kunnen met HVDC verschillende wisselstroomsystemen (bijv. 50 Hz en 60 Hz) worden aangesloten. Ondanks de voordelen zijn HVDC-systemen duurder en minder betrouwbaar dan gewone AC-systemen.

Uiteindelijk kunnen Edison, Tesla en Westinghouse hun wensen in vervulling zien gaan. AC en DC kunnen naast elkaar bestaan en beide dienen een doel.

5 Conclusie

Je zou nu een goed begrip moeten hebben van de verschillen tussen wisselstroom en gelijkstroom. AC is gemakkelijker te transformeren tussen spanningsniveaus, waardoor hoogspanningstransmissie haalbaarder is. Gelijkstroom daarentegen is te vinden in alle elektronica. Je moet weten dat de twee niet goed samengaan en dat je AC naar DC moet transformeren als je de meeste elektronica in een stopcontact wilt steken. Met dit begrip moet je klaar zijn om wat complexere schakelingen en concepten aan te pakken, zelfs als ze AC bevatten.