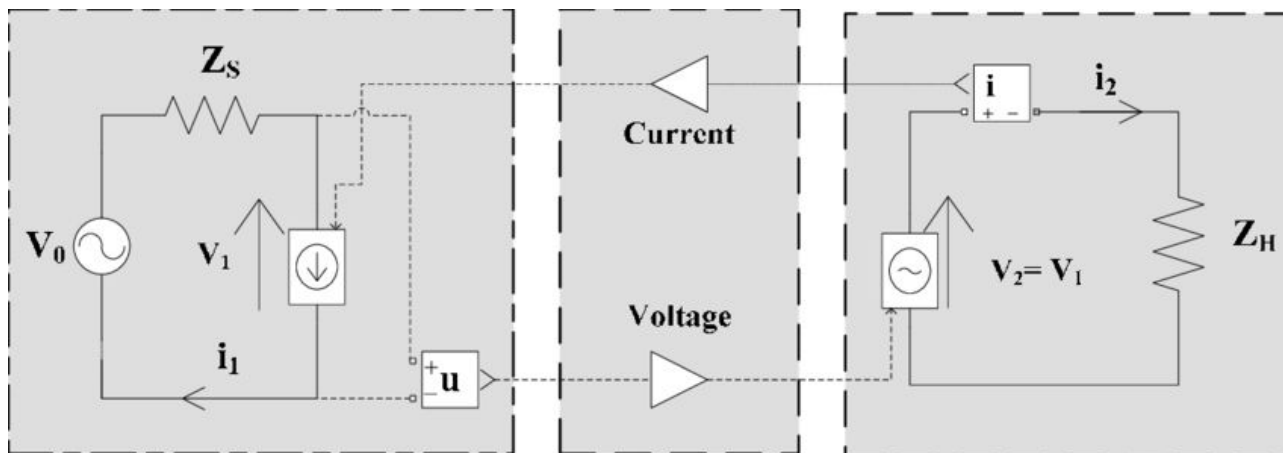


Power Hardware In the Loop (PHIL)



Inleiding

In deze e-book willen wij u kort laten kennis maken met Power Hardware In the Loop toepassingen en de keuze van de juiste hardware voor uw applicatie.

We gaan hierbij in op de volgende onderwerpen.

1. Wat is Hardware In the Loop (HIL)?
2. Wat is Power Hardware In the Loop (PHIL)?:
3. Applicaties voor PHIL
4. In 4 stappen naar de juiste versterker voor uw PHIL applicatie
 - a) Het dimensioneren van de versterker
 - b) Een één, twee of vier kwadrant versterker
 - c) De Bandbreedte van de versterker
 - d) De communicatie tussen de versterker en de HIL hardware
5. De range aan één, twee en vier kwadrant versterkers bij TTMS

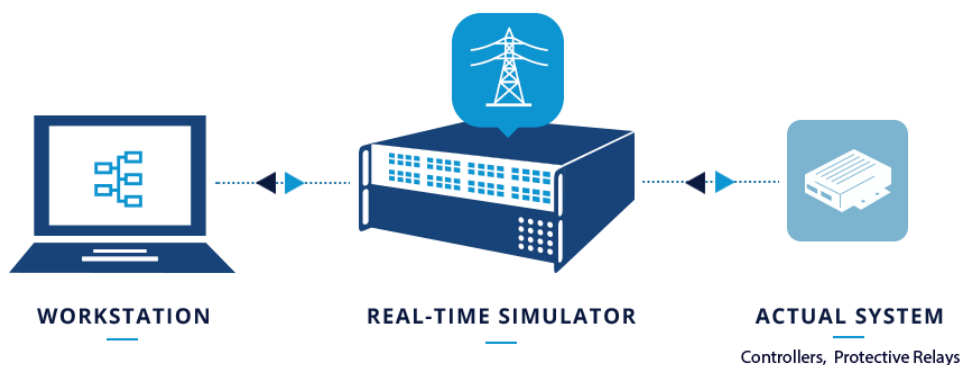
Bij elke applicatie van Hardware In the Loop komen er weer specifieke aandachtspunten naar voren.

Wij adviseren u dan ook om na het lezen van deze e-book om contact met ons op te nemen zodat wij u kunnen adviseren over de beste oplossing voor uw applicatie.

1. Wat is Hardware In the Loop (HIL)?

Hardware in the Loop (HIL) is een test- en validatietechniek die vaak wordt gebruikt in de ontwikkeling van complexe systemen zoals elektronische implementaties bij automotive en aerospace toepassingen, industriële machines en andere soortgelijke toepassingen. Denk hierbij aan motorregelsystemen, remsturingen, communicatiesystemen en vele andere toepassingen. In elke hedendaags concept komen we elektrische ontwerpen tegen die voor het aansturen, de veiligheid en communicatie in een ontwerp zorgen. Deze ontwerpen moeten worden getest en dienen hun functie te allen tijde correct uit te voeren.

Bij HIL worden de fysieke componenten of subsystemen van het bestaande systeem gekoppeld en verbonden aan een gesimuleerde omgeving. De simulatie kan bijvoorbeeld een softwaremodel zijn van andere subsystemen of omgevingsfactoren zoals weersomstandigheden. Het doel van HIL is om te controleren of de fysieke componenten van het systeem correct werken en communiceren met andere componenten en subsystemen, net zoals ze zouden doen in de werkelijke omgeving. HIL-testen kunnen worden gebruikt om verschillende scenario's te simuleren en te testen, waaronder foutomstandigheden en extreme omgevingsomstandigheden die moeilijk of onmogelijk te reproduceren zijn in een echte omgeving. Door HIL-testen uit te voeren, kunnen ontwikkelaars problemen opsporen en oplossen voordat het systeem in productie wordt genomen, wat uiteindelijk leidt tot een betrouwbaarder en veiliger eindproduct.



Er zijn een aantal bekende leveranciers van Hardware In the Loop hardware in combinatie met geavanceerde software. Denk hierbij bijvoorbeeld aan OPAL-RT, Typhoon-HIL, dSpace, Speedgoat, Vector en velen anderen.

**dSPACE**

speedgoat
real-time simulation and testing

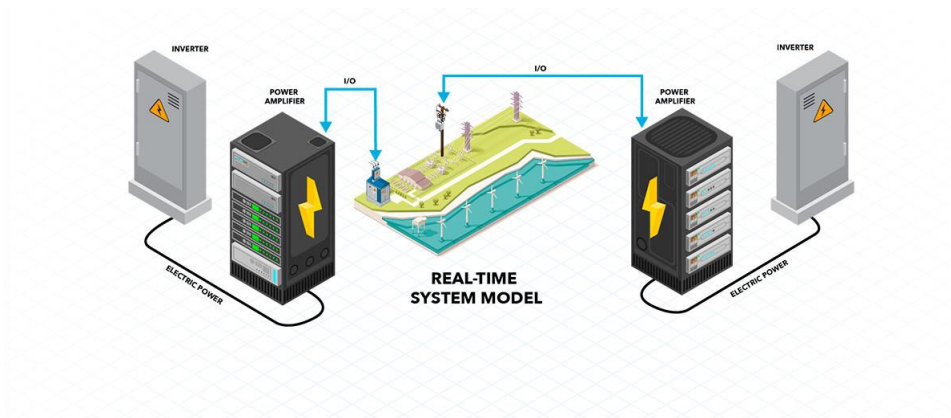
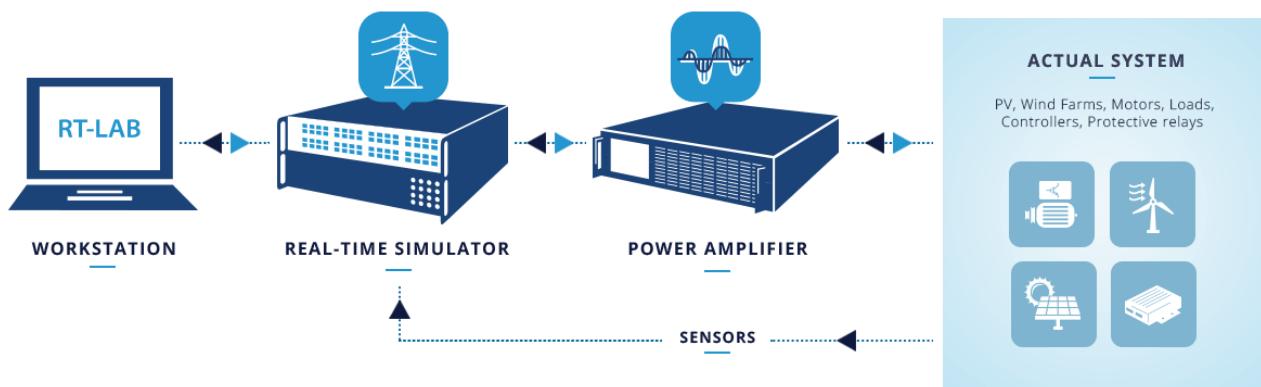
VECTOR 

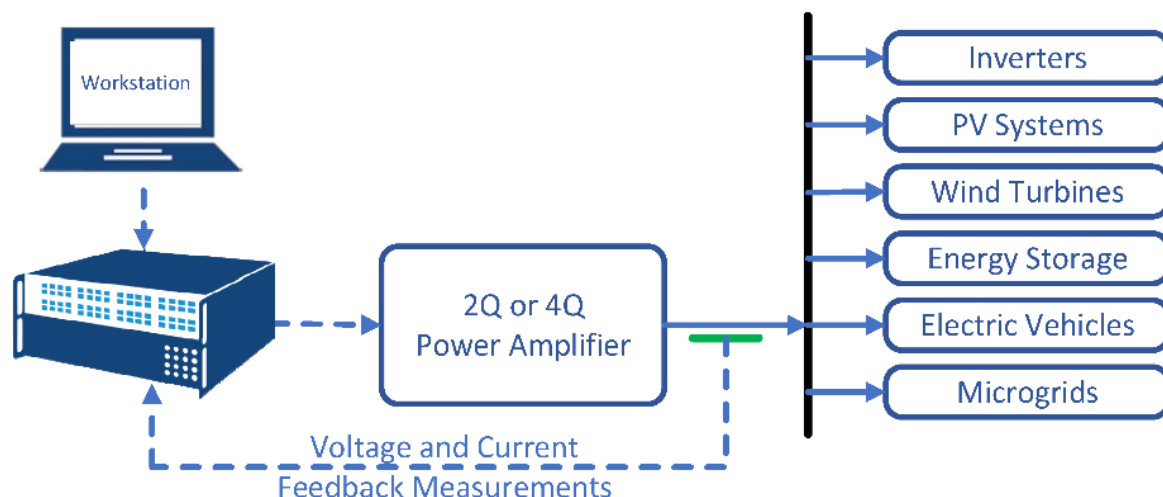
2. Wat is Power Hardware In the Loop (PHIL)?

Power Hardware In the Loop (PHIL) is een variant van het oorspronkelijke HIL-concept (Hardware In the Loop). Het concept van HIL blijft behouden en wordt aangevuld met extra vermogen -lees versterker- in de lus. Op die manier wordt er een HIL concept geschikt gemaakt voor het aansturen van fysieke componenten of subsystemen die meer vermogen vragen. Denk hierbij aan het testen of ontwerpen van elektromotoren, transformatoren of omvormers.

In een PHIL-systeem wordt de te testen apparatuur (bijvoorbeeld een omvormer) geïntegreerd in een testopstelling met real-time simulatiemodellen van andere apparatuur en systemen (bijvoorbeeld een elektriciteitsnetwerk of een windturbine). Het geheel wordt dan aangestuurd door een real-time simulatieomgeving die het gedrag van de gehele opstelling coördineert en controleert. PHIL biedt verschillende voordelen ten opzichte van conventionele testsystemen, waaronder een hogere mate van veiligheid, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en flexibiliteit. Het maakt het ook mogelijk om de meest geavanceerde en complexe testscenario's uit te voeren die moeilijk te realiseren zijn met traditionele testmethoden.

PHIL wordt vaak gebruikt in de ontwikkeling en validatie van energieomvormers, windturbines, zonne-energiesystemen en andere vermogenssystemen, waarbij de betrouwbaarheid en prestaties van het systeem cruciaal zijn voor de veiligheid en efficiëntie van het systeem.





3. Applicaties voor PHIL

Er zijn tal van toepassingen waar Power Hardware In the Loop (PHIL) uitkomst kan bieden. We lichten er een aantal toe:

- **Omvormers voor zonne-energiesystemen:** Een PHIL-opstelling kan worden gebruikt om de prestaties van een omvormer voor zonne-energiesystemen te testen. De omvormer wordt geïntegreerd in een real-time model die het zonne-energiesysteem en het elektriciteitsnetwerk gaat simuleren. Hierdoor kunnen de prestaties van de omvormer worden geëvalueerd onder verschillende belastingen, bedrijfsomstandigheden en weersomstandigheden.



- **Energieopslagsystemen:** denk hierbij aan batterijen, supercondensatoren en brandstofcellen. Bij het testen van deze opslagsystemen met PHIL worden echte batterijmodules of brandstofcellen geïntegreerd met een simulatiemodel van het systeem waarin de batterij wordt gebruikt. Er kunnen eenvoudig verschillende scenario's worden gesimuleerd om het batterijbeheersysteem (BMS) van een batterij te testen op prestaties en veiligheid. PHIL kan ook worden gebruikt om laad- en ontlaadalgoritmen van batterijsystemen te testen en te optimaliseren. Door echte batterijen te integreren met simulatiemodellen van het energiesysteem of het netwerk, kunnen ingenieurs verschillende laad- en ontlaadscenario's simuleren en de prestaties van de batterij evalueren.



- **Elektrische voertuigen:** PHIL-opstellingen kunnen ook worden gebruikt om elektrische voertuigen te testen en valideren. In dit geval worden de batterij, motor en spanningsconvertoren van het voertuig geïntegreerd in de real-time simulatiemodellen die de fysieke eigenschappen gaan simuleren van de weg, de bestuurder en het elektriciteitsnetwerk. Hierdoor kunnen de prestaties en het gedrag van het voertuig worden geanalyseerd onder deze verschillende bedrijfsomstandigheden.

- **Windturbines:** Een PHIL-opstelling biedt ook uitkomst om windturbines te testen en valideren. In deze toepassing worden de turbine en het controle-algoritme geïntegreerd met de real-time simulatiemodellen van het windkracht en richting, en het elektriciteitsnetwerk waar de windmolen op is aangesloten. Hiermee kunnen de prestaties en het gedrag van de windturbine worden geanalyseerd onder verschillende weersomstandigheden, belastingen en elektriciteitsnet situaties.
- **Industriële automatisering:** PHIL wordt ook toegepast in de industriële automatiseringssector om complexe besturingssystemen te testen. Het kan worden gebruikt voor het valideren van robotica, motion control-systemen, procesautomatisering en andere industriële besturingstoepassingen.
- **Netstabiliteit:** PHIL-opstellingen kan worden ingezet om de stabiliteit van elektriciteitsnetwerken te testen en valideren. In dit geval worden real-time simulatiemodellen van het elektriciteitsnetwerk en de belastingen geïntegreerd met fysieke apparatuur zoals generatoren en omvormers. Zo kunnen we dan de prestaties en het gedrag van het netwerk analyseren onder verschillende belastingen en storingen.
- **Netwerkbeheersystemen:** Het testen en valideren van SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) en DMS (Distribution Management System) systemen behoort ook tot de mogelijkheden. Door real-time simulatiemodellen van het netwerk en de belastingen te integreren met fysieke apparatuur zoals schakelapparatuur, vermogensregelaars en sensoren, kunnen verschillende scenario's worden gesimuleerd en getest om de werking en prestaties van de netwerkbeheersystemen te analyseren.
- **Smart Grids:** PHIL biedt hier een oplossing door de werking en prestaties van slimme netwerken te testen en te valideren. Door real-time simulatiemodellen van het netwerk en de belastingen te integreren met fysieke apparatuur zoals een aangesloten elektrische wagens, zonne-energiesystemen en batterij voor energieopslag. Zo kunnen alle scenario's worden gesimuleerd en getest om de prestaties van het netwerk te analyseren en optimaliseren.



4. In 4 stappen naar de juiste versterker voor uw PHIL applicatie

Een goed ontworpen PHIL-simulatie opstelling is een krachtig instrument voor onderzoek, ontwikkelen en testen van toepassingen in de vermogenselektronica en energiesystemen. Maar hoe selecteer je de juiste versterker voor een specifieke PHIL-toepassing? Deze 5 stappen zijn alvast een goede leidraad.

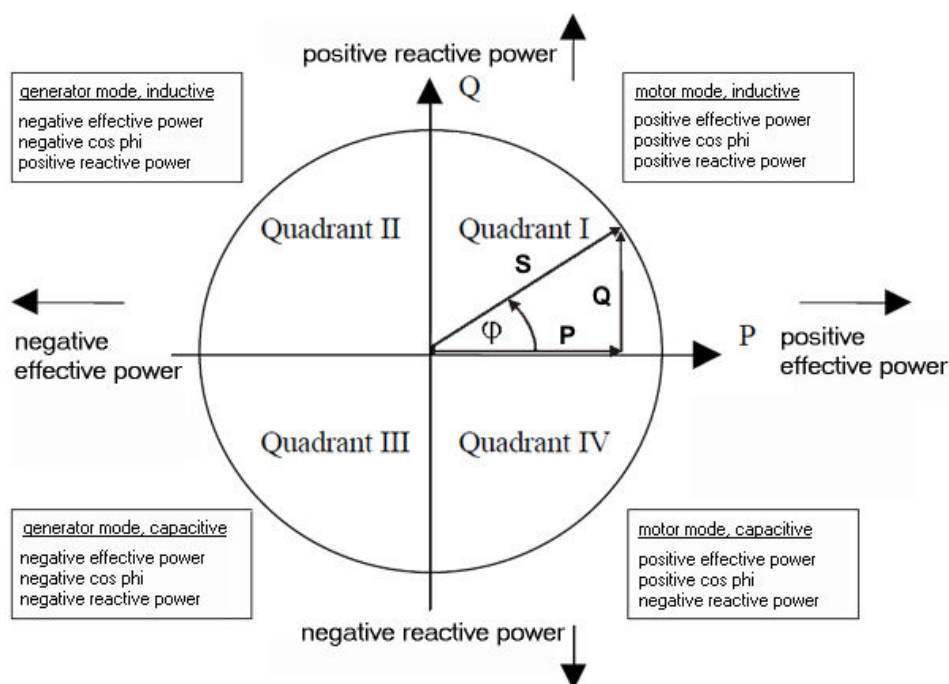
A. Het dimensioneren van de versterker

De eerste overweging bij het ontwerpen van een PHIL-testopstelling is het speciëren van het werkbereik van de apparaten die zullen worden gekoppeld. Een veelgemaakte fout is het selecteren van een versterker uitsluitend op basis van zijn vermogen zonder rekening te houden met enkele belangrijke punten. Moet de versterker in staat zijn om vermogen te absorberen? Welke bandbreedte hebben we nodig? Verder moet het ontwerp zo gekozen worden om te voldoen aan de testvereisten die kunnen overschreden worden door transiënts of aanloopstromen die een tijdelijke overbelasting kunnen veroorzaken.

Bij de keuze van de versterker moet rekening worden gehouden met de volgende aspecten:

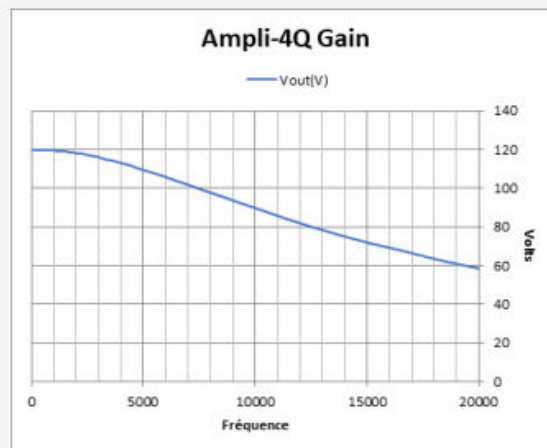
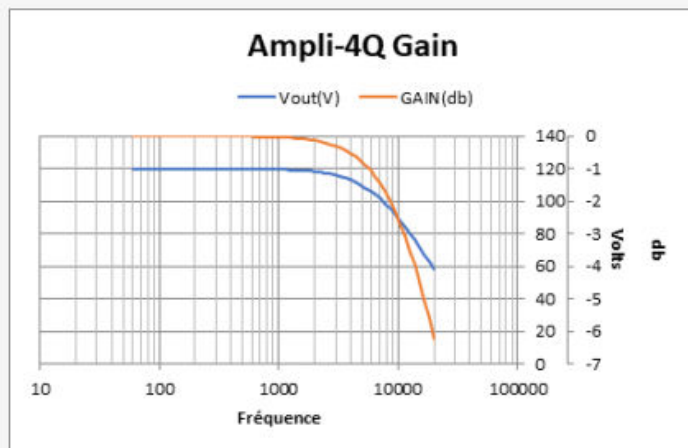
Specificaties eigen aan de applicatie

- Het aantal phases of kanalen dat nodig is.
- Het nominale vermogen bij een nominale frequentie (kVA voor AC, kW voor DC)
- De power factor en het werkelijke vermogen dat nodig is in alle 4 kwadranten (bipolaire opstelling).
- De nominale DC en AC spanning die de opstelling vereist.
- De frequenties waarop er getest wordt.
- Het vermogen en stroombereik bepalen, rekening houdende met eventuele aanloopstromen (motoren).



Stroompieken en de bedrijfsspecificaties van de versterker

Naast deze kenmerken specificeren fabrikanten van versterkers de mate van configureerbaarheid voor overspannings- en overstroombeveiligingen en het instellen van limieten. Gebruikers kunnen hiermee rekening houden bij het bepalen van het werkbereik van de testopstelling. De meeste fabrikanten van versterkers kunnen de karakteristieke grafieken van de dynamiek van de versterker geven om te verifiëren of het werkbereik voldoende is.



Sommige versterkers kunnen gedurende een korte periode een hogere stroom en een hoger vermogen aan dan hun geadverteerde limiet. Aanvullende informatie hierover kan door de fabrikant verstrekt worden.

Bij TTMS hebben we onder andere de versterkers van Cinergia beschikbaar die gedurende 2 seconden 200% van de gespecificeerde vermogen en stroom kan leveren.

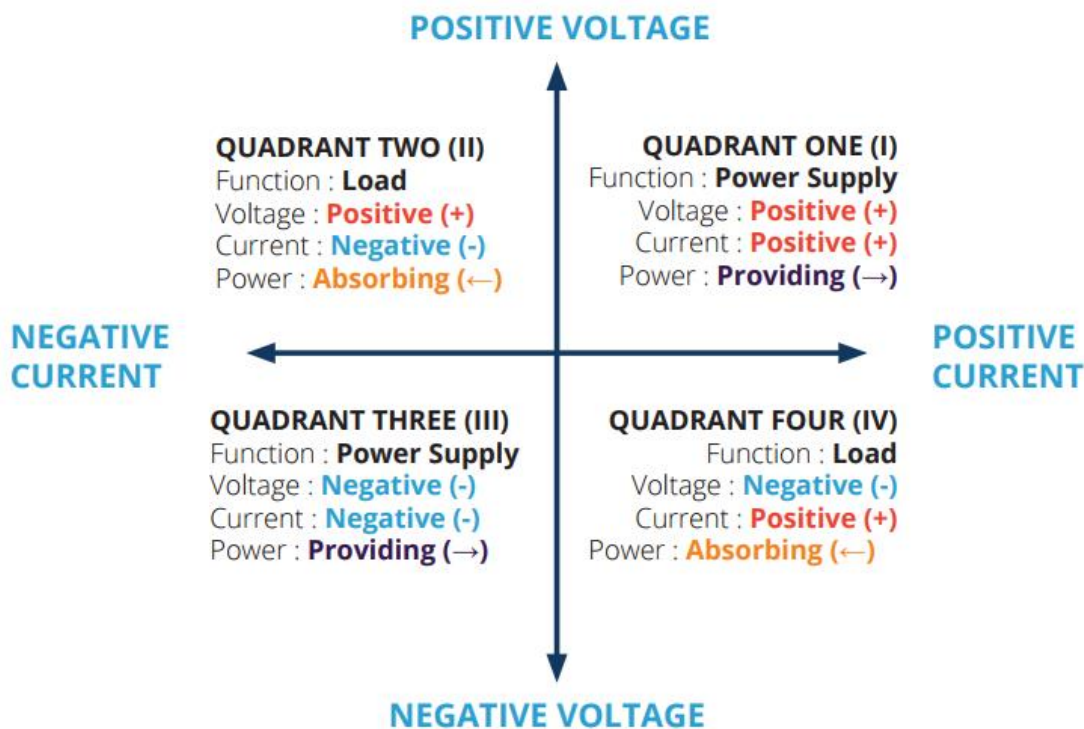
In sommige gevallen kan het nodig zijn om een step up transformator toe te voegen om de beoogde spanning van de DUT te behalen. De vermogensspecificaties van deze transformator moet uit veiligheid minimum 10% tot 20% hoger moeten liggen dan die van de versterker. Merk ook op dat het toevoegen van een transformator de frequentie kan veranderen. Bovendien kunnen transformatoren gemakkelijk verzadigen, afhankelijk van hun verzadigingskarakteristieken en de bedrijfsomstandigheden. Een hoge transformatorverzadiging geïnduceerd door DC spanningen of transients kan door de versterker worden gezien als een quasi kortsluiting, waardoor de versterker kan trippen. Daarom is het erg belangrijk om de behoeften te kennen van de toepassing waarvoor een PHIL-configuratie wordt ontworpen. Sommige transformatorontwerpen maken een groter bereik van lineaire werking mogelijk, maar de kosten en het gewicht kunnen aanzienlijk toenemen. Uiteindelijk gaat het ontwerp van een PHIL-testopstelling altijd gepaard met compromissen met betrekking tot kosten en bedrijfsomstandigheden.

B. Een één-, twee- of vierkwadrant versterker

Sourcen en Sinken

Het tweede belangrijke element waarmee er rekening moet worden gehouden is het selecteren van een configuratie met source en sink mogelijkheden. Een versterker met een absorberend vermogen kan veel prijziger zijn dan een standaard sourcing versterker. Afhankelijk van de toepassing moet de simulatie opstelling stroom leveren aan een belasting (bekend als sourcing) en/of om stroom kunnen absorberen (bekend als sinking). Bijvoorbeeld de energie die wordt gegenereerd door het remmen in een motor kan worden hergebruikt om zijn batterij op te laden. Ook bij micro grid toepassingen zien we dit bi-directionele concept terug waarbij overtollig opgewekte energie terug het hoofdnnet van de energieleverancier wordt ingestuurd. Bij een tekort aan zelf opgewekte energie wordt er dan weer energie gevraagd van de energieleverancier.

Nog een voorbeeld zijn bi-directionele laadpunten die het aangesloten voertuig van energie voorziet op momenten dat er energie overschot is op het elektriciteitsnet. Maar bij een tekort de opgeslagen energie uit de batterij terug naar het net gaat sturen. (V2G, V2X,..). Dus als de energiestroom van een applicatie in beide richtingen moet gaan is een versterker nodig die zowel sourcing als sinking doet. Hier komen we dan uit bij bi-directionele en bipolaire of 4 kwadrant versterkers. De bi-directionele versterker is actief in kwadrant 1 en 2. De spanning blijft positief maar de stroom kan zowel positief als negatief zijn. De bipolaire versterker is actief in alle 4 kwadranten en kan zowel met positieve als negatieve spanningen en stromen overweg.



Lineaire of schakelende versterker

Lineaire versterkers werken in het lineaire gebied van halfgeleidercomponenten. Deze versterkers hebben normaal gesproken een goede frequentierespons van boven de 10kHz. Een nadeel van deze versterkers is dat ze vaak minder efficiënt zijn en groot in omvang. Hiermee moet rekening worden gehouden bij toepassingen met een hoog vermogen.

Schakelende versterkers werken in het verzadigingsgebied van het schakelement. Van ontwerp zijn ze een stuk efficiënter (> 90%) en beter geschikt voor het absorberen van energie en hebben ze normaal gesproken een hoger vermogen in een compactere behuizing in vergelijking met lineaire versterkers. Een nadeel is dat ze over het algemeen een lagere bandbreedte hebben afhankelijk van de PWM-frequentie en filtering. Nieuwe ontwerpen van schakelende versterkers kunnen nu richting een bandbreedte van 5 kHz en hoger met behulp van snellere schakelementen zoals de nieuwere SiC- en GaN-transistoren.

Het veilige werkgebied van lineaire en schakelende voedingen kunnen behoorlijk verschillen, vooral als het gaat om stroomoverbelasting. Sommige versterkers, meestal de lineaire, verbruiken extra vermogen wat zich dan weer vertaalt in veel warmteafgifte. Anderen kunnen extra vermogen aan het elektriciteitsnet afleveren. Deze hoogwaardige regeneratieve versterkers zijn veel efficiënter, omdat er minder vermogen verloren gaat aan warmte.

Het selecteren van de source en sink mogelijkheden van een versterker hangt dus grotendeels af van de toepassing. Zodra deze zijn gekozen, is de volgende logische stap het selecteren van de juiste bandbreedte.

C. De bandbreedte van de versterker

Het bepalen van de bandbreedte van de versterker is een niet te onderschatten factor in het bepalen van de totale PHIL-systeemkosten. In feite kunnen de totale systeemkosten makkelijk verdubbelen als er hoogfrequente versterkers nodig zijn in vergelijking met een normale laagfrequente versterker.

Motoren emuleren

Voorbeeld: we willen een motor simuleren om de thermische capaciteit van een omvormer ontwerp te testen. Hiervoor volstaat het om een eenvoudig motormodel te emuleren dat in staat is om de RMS-waarde van de motorstroom onder verschillende omstandigheden zoals de stabiele toestand en overbelasting te reproduceren. Een laagfrequente versterker die spanningen en stromen kan opwekken bij de fundamentele frequentie die op de motorklemmen wordt verwacht, is voldoende.

Aan de andere kant vereist de analyse in welke mate de inverter controller de koppelrimpel kan onderdrukken en een nauwkeurige simulatie met hoogfrequente harmonische, die 5 kHz of meer kunnen bereiken, afhankelijk van de motor rotatiesnelheid en het aantal polen. Dergelijke high-end PHIL-motor emulatoren vereisen een versterker met hoge bandbreedte die wordt bestuurd door een snelle real-time simulator die een gedetailleerd model kan maken.

Een simulatietijd rond 1 of 2 microseconden en een versterker met een bandbreedte van 5 kHz tot 10 kHz zal nodig zijn om de harmonische stroom- en koppelrimpels te simuleren. Het opstarten van de motor genereert ook korte stroompieken aan de omvormer welke moeten worden gedetecteerd door het beveiligingscircuit. Het testen van een dergelijke hogesnelheidsbeveiliging gaat ook de reactietijd en bandbreedte bepalen die de versterker nodig heeft. In de praktijk hebben we voor het realiseren van real-time high-end motormodellen een stabiele versterker nodig die overweg kan met stroompieken en over een hoge bandbreedte beschikt om harmonische vervorming te kunnen simuleren. .

Elektriciteitsnetwerken emuleren

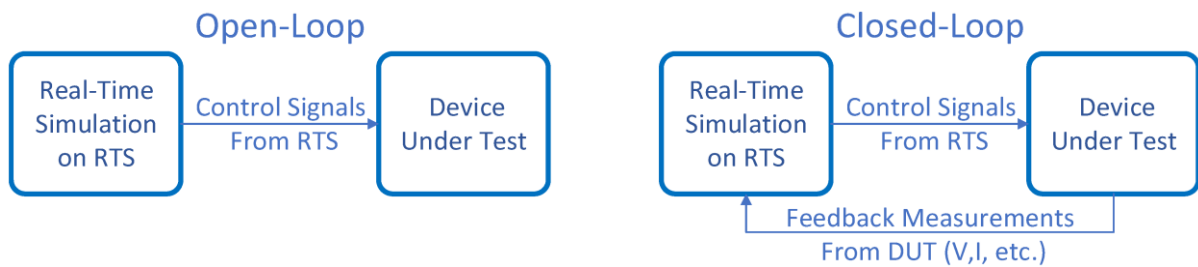
Dezelfde analyse moet ook worden uitgevoerd om een distributie- en micro grid PHIL-simulator te implementeren. Bijvoorbeeld voor het testen van een trage micro grid controller met een updatetijd van 50 tot 100 milliseconden zijn eindversterkers nodig die de nominale netfrequentie 50hz kan genereren om vermogensschommelingen na te bootsen. Een eenvoudige simulator en een versterker met niet al te hoge bandbreedte kan voldoende zijn. Maar voor het simuleren van zeer snelle overspanning- en overstroompieken veroorzaakt door schakelende vermogenselektronica hebben we versterkers nodig met een hogere bandbreedte die in real-time wordt aangestuurd door een snelle simulator.

Een stabiele en accurate versterker selecteren

Het is ook van vitaal belang dat de stabiliteit van het gesloten lus systeem gevormd door de versterker, de belasting, de real-time simulator, alle sensoren en communicatieverbindingen te analyseren. Het doel hiervan is om een stabiel PHIL systeem te verkrijgen, rekening houdende met alle mogelijke vertragingen. Nauwkeurigheid, stabiliteit en een algehele veilige werking van het PHIL-systeem zijn prioriteit. In feite is het afstemmen van een PHIL-systeem hetzelfde als het optimaliseren van een besturingssysteem waar een stabiel draaiend geheel absolute prioriteit krijgt. Problemen moeten zorgvuldig worden geanalyseerd en alle vertragingen veroorzaakt door de real-time simulator, de versterkers en interface-apparaten moeten tot een minimum worden beperkt om de nauwkeurigheid en stabiliteit te verhogen van high-end PHIL-

systemen. Versterkers met een bandbreedte van +/-10 kHz en op FPGA gebaseerde snelle simulatoren van minder dan een microseconde zijn vaak vereist.

De maximale bandbreedte van een PHIL-toepassing is gelijk aan de maximaal vereiste frequentiemogelijkheden om de gespecificeerde transiënten en harmonische tijdens de test te kunnen simuleren.



De onderstaande specificaties zijn erg belangrijk om de nauwkeurigheid, snelheid en stabiliteit van het PHIL-systeem te bepalen

- Bandbreedte bepalen door bodediagrammen met de versterking en fase in functie van frequentie bij verschillende vermogens en type belastingen
- Maximale slew-rate en initiële vertraging
- Communicatievertragingen van en naar de DUT, uitgevoerd door de real-time simulator
- Inductantie en impedantie
- Sensornauwkeurigheid en vertraging
- Anti-aliasing filters (bijvoorbeeld als de DUT een omvormer is)

D. Communicatie tussen versterker en simulator

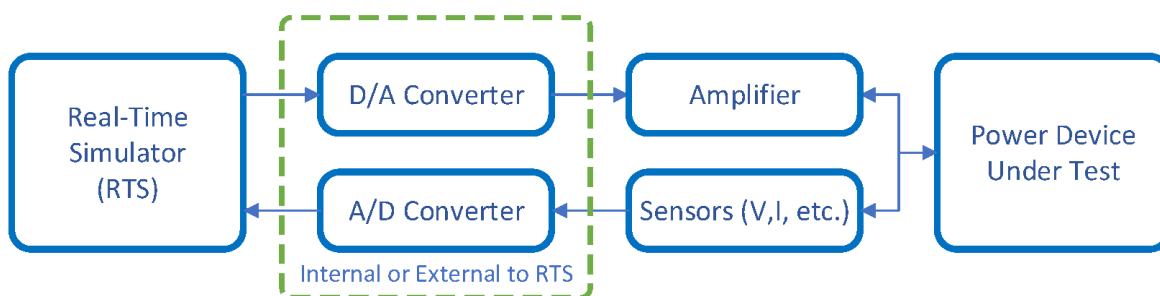
Voor PHIL-toepassingen is een snelle aansturing van de versterker en een snelle terugkoppeling van stromen en spanningen vereist om de lus te sluiten. Als de feedback te traag is zullen de veranderlijke stromen en spanningen niet correct worden gemeten, resulterend in een onstabiele configuratie. Omdat real-time simulatoren kunnen worden gekoppeld aan een breed scala aan versterkers en controllers, is het kiezen van de juiste instrumentatie cruciaal. In feite kan de juiste apparatuur een PHIL opstelling stabiliseren door de feedbacktijd aanzienlijk te verkorten. Bij PHIL komen we twee manieren tegen om stroom- en spanningsfeedback terug te sturen naar de simulator. Met digitale communicatie of met analoge connecties.

Digitale communicatie

High-end versterkers hebben vaak de mogelijkheid om hun output intern te meten en de informatie te verzenden via een small form-factor pluggable transceiver (SFP) via een point-to-point communicatie protocol Aurora genoemd. SFP en Aurora zorgen voor een gedigitaliseerde meting en regeling zonder ruis op hoge snelheid met 1 aansluitpunt via glasvezel. Aurora laat de versterker ook op afstand configureren via de interface van de simulator met specifieke functiecommando's zoals de stroom- en spanningslimieten evenals het in- en uitschakelen van versterkeruitgang. Glasvezelinterfaces elimineren aard lus problemen en ruisinterferentie en bieden maximaal veiligheid.

Analoge connecties

Sommige versterkers gebruiken analoge ingangen en uitgangen. In dergelijke gevallen moet de simulator ook analoge uitgangen en ingangen hebben om met de versterker te verbinden. Speciale aandacht moet worden besteed aan het voorkomen van ruis in de kabels die de versterkers en sensoren met de simulators verbinden. Galvanische isolatie is ook aanbevolen om problemen met aardlussen te voorkomen en om een veilige installatie te verkrijgen.



Delays in PHIL interface affect simulation accuracy and stability

5. De range aan één-, twee-, en vierkwadrant versterkers bij TTMS

Eén kwadrant versterkers of te wel DC voedingen / DC loads.

Eén kwadrant versterkers bestaan eigenlijk uit twee hoofd categorieën; DC voedingen of DC loads. Daar valt dan weer een onderverdeling in te maken naar lineaire en geschakelde voedingen/loads.

Afhankelijk van de modellen kunnen we vervolgens nog een indeling maken in constante spanning, constante stroom, constant vermogen en voor de loads ook nog constante weerstand. En bij de loads zien we nu ook meer en meer regeneratieve DC loads. Eigenlijk alle DC voedingen en loads met een analoge interface kunnen worden ingezet als een één kwadrant versterker in een PHIL systeem. En dan komen we op spanning ranges van Nano Volt tot kilo Volt, stroomranges van pico Ampère tot kilo Ampère en vermogens van micro Watt tot Mega Watt.

[Itech IT2800](#)



[Magna Power TS serie](#)



[ISEG SHR DC Hoogspanningsvoeding](#)



[H&H PLI load](#)



Voor een compleet overzicht van de DC voedingen bij TTMS verwijzen wij u graag naar [DC voedingen](#).

Voor een compleet overzicht van de DC loads bij TTMS verwijzen wij u graag naar [DC loads](#).

Twee kwadrant versterker

Bi-directionele versterkers (ook wel twee kwadrant voedingen of unipolaire voeding genoemd) zijn geschikt om twee kwadranten af te dekken voor wat betreft spanning of stroom. We zien dit veel terug in de toepassing van het laden en ontladen van batterijen. Altijd een positieve spanning maar de stroom kan zowel positief als negatief zijn. Ook hier hebben we reeks vanaf nV tot 2250V, van pA tot 30kVA, vermogens van μ W tot MW en frequenties tot >1kHz. Deze versterkers zijn er ook in regeneratieve uitvoeringen waarbij bij een negatieve stroom het vermogen wordt terug geleverd aan het net.

[H&H QL serie](#)



[Itech IT6000C](#)



Ook het omgekeerde is mogelijk. Altijd een positieve stroom maar de spanning kan zowel positief als negatief zijn. Dit zien we bijvoorbeeld terug bij een AC voeding. En ook hier gaan we van hele kleine AC voedingen van 300VA naar mogelijkheden tot >1MVA. De spanning bereiken lopen op tot 600V_{ac}-n, stromen tot in de kA, vermogens tot >1MVA en frequenties tot 5kHz.

[Itech IT-M7700](#)



[Elettrotest TPS](#)



Vierkwadrant versterker (bipolaire versterkers)

Bipolaire versterkers (ook wel vierkwadrant versterkers genoemd) zijn geschikt om zowel spanning als stroom te genereren in zowel positief als negatief.

Wij hebben als TTMS een hele brede lijn aan [bipolaire versterkers](#). Versterkers met een vermogen van een paar watt tot meer als een Mega Watt. Spanning bereiken lopen op tot 700Vac en stromen tot in de kA. Uitzonderlijk in deze categorie zijn ook de frequentie bereiken. We hebben versterkers van DC tot 1MHz met spanningen van 300Vp-p.

[NF Corp BP4610](#)



[Cinergia Rack mount versie GE&EL+ vAC/DC](#)



[Itech IT7900EP](#)



[NF HSA](#)



Bij elke applicatie van Power Hardware In the Loop komen er weer specifieke aandachtspunten naar voren.

Wij raden u dan ook aan om ook na het lezen van deze e-book contact met ons op te nemen zodat wij u kunnen adviseren over de beste oplossing voor uw applicatie. Dat kan uiteraard per email (info@ttms.nl), telefoon (+31 (0) 252 621080) of deze specifieke [contact link](#).