

Stroombronnen voor het booglassen

Er zijn de achterliggende jaren veel innovatieve ontwikkelingen geweest op het gebied van het lassen. Een deel van deze ontwikkelingen is mogelijk gemaakt door de beschikbaarheid van nieuwe stroombronnen. Het zijn vooral de snelle ontwikkelingen in de vermogenselektronica die hierbij een cruciale rol spelen. De ontwikkelingen in de elektronica zijn gebaseerd op het steeds sneller maken en verdergaande miniaturisering van de elektronische componenten. Dit is een algemene trend in ons dagelijks bestaan, die misschien wel het meest zichtbaar is bij de ontwikkeling van Personal Computers: vooral sneller en kleiner van afmetingen. De ontwikkelingen op het gebied van computers en vooral van het hart 'de microprocessor' zijn inder tijd voorspeld door Moore en vastgelegd in een zogenaamde "Wet van Moore" (De Wet van Moore stelt dat het aantal transistors op een computerchip door de technologische vooruitgang elke 24 maanden verdubbelt). Voorlopig gaat de Wet van Moore nog steeds op en het is de verwachting dat aan het huidige tempo van deze ontwikkelingen voorlopig nog geen einde is gekomen. Alle apparatuur waarin dit soort 'computerchips' toepassing vinden (dus ook in onze stroombronnen) volgen deze snelle ontwikkelingen.

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Ontwikkeling	1
2.1	Booglassen	2
2.2	Boogkarakteristiek en ijklijn	2
2.3	Statische stroom-spanningskarakteristiek van een stroombron	3
2.3.1	Verticale, (af)vallende, dalende of steile karakteristiek	3
2.3.2	Horizontale of vlakke karakteristiek	4
2.3.3	Karakteristieken van moderne stroombronnen	5
2.3.4	Dynamische karakteristiek	6
3	Indeling van de verschillende typen stroombronnen	6
3.1	Conventionele stroombronnen	6
3.2	Moderne stroombronnen	7
3.2.1	Elektronisch geregelde analoge stroombron	8
3.2.2	Chopper	8
3.2.3	Inverter	10
3.2.4	Hybride stroombron	10
3.3	Van analoog naar digitaal	10
3.3.1	Analoge stroombronnen	11
3.3.2	Digitale stroombronnen	11
4	Enkele aspecten die te maken hebben met stroombronnen	12
5	Bijzondere mogelijkheden en voorzieningen in stroombronnen	15
6	Levensduur en onderhoud van moderne stroombronnen	18
7	Wat kunnen we nog verwachten op het gebied van stroombronnen in de komende jaren?	18
8	Literatuur	19

1 Inleiding

Met de komst van de nieuwe elektronische bouwstenen en microprocessorbesturingen, zijn de mogelijkheden van moderne stroombronnen enorm uitgebreid, waarbij als meest opmerkelijke veranderingen genoemd kunnen worden:

- ▶ de afmetingen en het gewicht: door het toepassen van inverter-technieken kan het gewicht van de transformator sterk beperkt worden (inverter: 4 kg voor 500 A i.p.v. circa 60 kg voor de traditionele transformator);
- ▶ de besturing: de vermogensregeling door componenten als thyristors en transistors maken het mogelijk de stroombronnen met microprocessors te sturen, terwijl databanken met procesgegevens of voor de opslag hiervan eenvoudig kunnen worden ingebouwd;
- ▶ de vermogensregeling: de snelheid van moderne stroombronnen is zo groot, dat tijdens het lassen de lasparameters kunnen worden gemeten en het vermogen op basis van deze gemeten waarden kan worden geregeld.

Uiteindelijk is het denkbaar (maar nog allerm minst zeker) dat de moderne elektronica er op termijn voor zal zorgen dat een volledige procesbeheersing van het booglassen mogelijk wordt.

De vele stroombronnen die voor het booglassen op de markt zijn, maken het voor de gebruiker moeilijk om hier zijn weg in te vinden en na te gaan welk type stroombron

het meest geschikt is voor zijn toepassing. Deze voorlichtingspublicatie geeft niet aan welke stroombron u moet aanschaffen, maar is bedoeld als algemeen overzicht van de aspecten, die van belang zijn bij de aanschaf van een stroombron. Gewapend met deze informatie moet het niet moeilijk zijn de eigen wensen te omschrijven en te vertalen naar de keuze van de juiste stroombron. Meestal zal er hierbij een ruime keuze zijn uit het aanbod van stroombronnen, in het geval van specifieke wensen zal de keuze beperkter zijn.

Deze voorlichtingspublicatie beperkt zich tot stroombronnen voor het booglassen, dat wil zeggen tot de lasprocessen die gebruik maken van een elektrische boog. Veel type stroombronnen worden echter ook ingezet voor andere lasprocessen. De principiële werking van deze stroombronnen verandert hierdoor natuurlijk niet, wel zijn er verschillen qua uitvoering, vermogen en mogelijkheden.

2 Ontwikkeling

De stroombron is van vitaal belang voor het booglassen [15]. De belangrijkste functie van een stroombron is het lascircuit te voorzien van de noodzakelijke elektrische energie om een boog te kunnen starten en in stand te houden. De functies van een stroombron worden beïnvloed door de gebruikte (elektronische) componenten en opbouw. Afhankelijk van de kennis, ervaring en visie van de fabrikanten, verschillen stroombronnen van elkaar. Deze verschillen zijn ook terug te vinden in het 'gedrag' van de stroombron tijdens het lassen.

De basis voor het begrijpen van de werking van stroombronnen ligt bij de "karakteristiek"¹⁾ van stroombron. De karakteristiek van de stroombron zegt iets over het gedrag van de stroom en spanning bij wisselende belastingen op de uitgang (secundaire zijde) van de stroombron. Wisselende belastingen ontstaan bijvoorbeeld als de booglengte tijdens het lassen varieert.

Booglengtevariëaties kunnen optreden, doordat de lasser zijn lastoorts beweegt, of doordat bij het lassen met een afsmeltende lasdraad de draadaanvoer niet regelmatig verloopt. Hoewel wisselende belastingen op de uitgang van een stroombron veroorzaakt kunnen worden door verschillende mechanismen, reageert en corrigeert de stroombron op een eenduidige manier.

Stroombronnen kennen twee soorten karakteristieken te weten de "statische" en de "dynamische" karakteristiek. In veel gevallen wordt alleen aandacht geschonken aan de statische karakteristiek van de stroombron en wordt de dynamische karakteristiek voor lief genomen. Bij snel wisselende parameters (bijvoorbeeld bij het MAG kortsluitbooglassen) gaat de dynamische karakteristiek van de stroombron echter een steeds belangrijker rol spelen (zie § 2.3.4.).

1) Daar waar van 'karakteristiek' wordt gesproken wordt bedoeld 'stroom-spanningskarakteristiek'.

2.1 Booglassen

Alle lasprocessen die gebruik maken van een boog voor het opwekken van warmte vallen onder de groep booglasprocessen. De meest bekende en toegepaste booglasprocessen worden in tabel 2.1 weergegeven.

tabel 2.1 De meest bekende en toegepaste booglasprocessen

booglasproces	procesnummer
MIG/MAG lassen	131,135,136 en 137
booglassen met beklede elektrode (Bmbe)	111 ^{a)}
TIG-lassen	141
plasmalassen	15
onder poeder lassen	12

a) Aanduiding volgens de NEN EN ISO 4063

Voor een beschrijving van deze lasprocessen wordt verwezen naar de websites www.Verbinden-Online.nl en www.DunnePlaat-Online.nl.

Voor de geleiding van de elektrische stroom heeft elke lasboog een plasmakolom. Een plasma in de fysica is een volledig geïoniseerd ²⁾ gas. Voor het lassen wordt deze term echter ook gebruikt als het gas slechts gedeeltelijk geïoniseerd is. Een plasma kan alleen maar ontstaan en in stand worden gehouden bij hoge temperaturen, zoals in een boog. Hoe hoger de temperatuur des te stabielier is het plasma. In tabel 2.2 wordt een overzicht gegeven van de maximale temperaturen bij de diverse booglasprocessen.

tabel 2.2 Maximale temperaturen (berekend) in de kern van de boog bij verschillende boogprocessen

booglasproces	max. temperatuur (kern v.d. boog)
Bmbe (111)	ca. 6000 °C
MIG/MAG (131/135)	ca. 8000 °C
TIG (141)	ca. 14000 °C
plasma (15)	ca. 24000 °C

Door straling, convectie en thermische geleiding wordt continu warmte afgestaan aan de omgeving, en moet er constant energie worden toegevoerd. Bij een plasma, zoals dit ontstaat bij het booglassen, wordt de warmte-ontwikkeling verkregen door de verhitting van het beschermgas. De boog heeft namelijk altijd een elektrische weerstand, waardoor er bij stroomdoorgang vermogen wordt ontwikkeld $P \text{ (Watt)} = I^2 \text{ (Ampère)} \times R \text{ (Ohm)}$. Als het vermogen dat in de boog wordt ontwikkeld gelijk is aan het vermogen dat wordt afgestaan door de boog, is er sprake van een stationaire (evenwichts)toestand. De stroombron zorgt dat deze evenwichtstoestand kan blijven bestaan.

Het booglassen is dus een 'dynamisch' proces, waarbij continu gestreefd wordt naar een zo optimaal mogelijke evenwichtssituatie.

2.2 Boogkarakteristiek en ijklijn

De stroom - spanningskarakteristiek van een elektrische boog (kortweg boogkarakteristiek) hangt af van vele factoren. Afhankelijk van het type lasproces zijn dit onder andere de chemische samenstelling van de elektroden, de diameter van de elektrode, de booglengte en de samenstelling van het plasma. (beschermgas en metaaldamp). De boog kan worden gezien als een variabele weerstand die, afhankelijk van de eerder genoemde factoren, dus ook een variabele spanning en stroomsterkte oplevert. Het is daarom lastig om een vaste stroomschaal op stroombronnen aan te brengen, de stroom varieert immers met verande-

ringen van de booglengte. In de NEN-EN-IEC 60974-1:2005 [9] zijn daarom eisen opgesteld die zijn geënt op de gemiddelde boogkarakteristiek bij het booglassen met beklede elektrode.

Hiervoor is de zogenaamde ijklijn geïntroduceerd die een (lineaire) relatie weergeeft tussen de boogspanning en de stroomsterkte en dus een maat vormt voor het aanbrennen van een stroomschaal. Fabrikanten moeten de stroomaanduiding van hun stroombronnen testen en afregelen volgens deze ijklijn. Ijklijnen kunnen dus gezien worden als, in de norm vastgelegde, eenduidige waarden voor de spanning en stroomsterkte bij variaties van de booglengte tijdens het lassen.

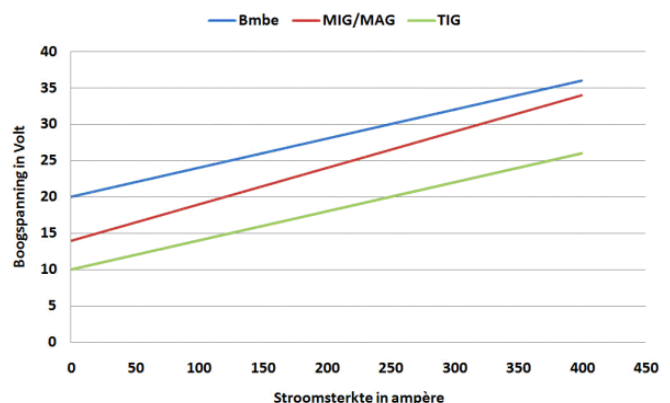
Tegenwoordig lijkt dit met onze digitale uitlezing van de lasparameters achterhaald; de praktijk is echter dat ook deze stroom- en spanningsmeters conform de ijklijn van de NEN-EN-IEC 60974-1:2005 zijn afgeregeld.

Voor de verschillende lasprocessen en stroomsterkten zijn de in tabel 2.3 de lineaire relaties weergegeven die worden gehanteerd conform de NEN-EN-IEC 60974-1:2005 [9].

tabel 2.3 Lineaire relaties van de ijklijnen voor de verschillende booglasprocessen evenals het plasmasnijden en -gutsen (NEN-EN-IEC 60974-1:2005 [9])

proces	criterium	ijklijn
Bmbe	I maximaal 600 A	$U = 20 + 0,04 I$ Volt
	I boven de 600 A	$U = 44$ Volt
TIG	I maximaal 600 A	$U = 10 + 0,04 I$ Volt
	I boven de 600 A	$U = 34$ Volt
MIG/MAG en gevulde draad	I maximaal 600 A	$U = 14 + 0,05 I$ Volt
	I boven de 600 A	$U = 44$ Volt
onder poeder lassen	I maximaal 600 A	$U = 20 + 0,04 I$ Volt
	I boven de 600 A	$U = 44$ Volt
plasmalassen	I maximaal 600 A	$U = 25 + 0,04 I$ Volt
	I boven de 600 A	$U = 49$ Volt
plasmagutsen	I maximaal 300 A	$U = 100 + 0,4 I$ Volt
	I boven de 300 A	$U = 220$ Volt
plasmasnijden	I maximaal 165 A	$U = 80 + 0,4 I$ Volt
	$165 A < I_2 < 500 A$	$U = 130 + 0,1 I$ Volt
	I boven de 300 A	$U = 180$ Volt

Een aantal van deze ijklijnen is voor een drietal veel gebruikte booglasprocessen grafisch weergegeven in figuur 2.1 [12].



figuur 2.1 Grafische weergave van de ijklijnen van een aantal veel gebruikte booglasprocessen [12]

In de praktijk wordt de relatie tussen de spanning en de stroomsterkte die is vastgelegd in de ijklijnen, soms gebruikt voor het bepalen van de warmte-inbreng als er geen

3) Ioniseren van een gas is populair gezegd het elektrisch geleidend maken van een gas.

meetapparatuur voorhanden is. Op basis van een ingestelde stroomsterkte kan met behulp van deze ijklijnen op een simpele manier de boogspanning worden bepaald waarna, als de lassnelheid bekend is, de warmte-inbreng kan worden berekend. Dit is echter niet meer dan een grove benadering en dus globale indicatie van de warmte-inbreng, omdat de praktijksituatie sterk kan afwijken. Voor kritische toepassingen is het daarom wenselijk altijd de actuele waarde van de spanning en stroomsterkte te meten; uiteraard met gekalibreerde meters.

2.3 Statische stroom-spanningskarakteristiek van een stroombron

De relatie tussen de spanning en de stroom, in afhankelijkheid van de weerstand, wordt voor elke stroombron weergegeven door de statische stroom-spanningskarakteristiek van de stroombron. Door hun traditionele opbouw werken alle elektronisch geregelde analoge stroombronnen (zie § 3.2.1) met dergelijke karakteristieken. Bij moderne digitale stroombronnen (zie § 3.2.2) hoeft dit niet het geval te zijn, omdat deze stroombronnen in staat zijn elke gewenste combinatie van stroom en spanning (elektronisch) in te stellen. De fabrikant heeft bij volledig digitale stroombronnen meer mogelijkheden om deze relatie naar eigen inzicht te 'sturen'. Hierover later meer.

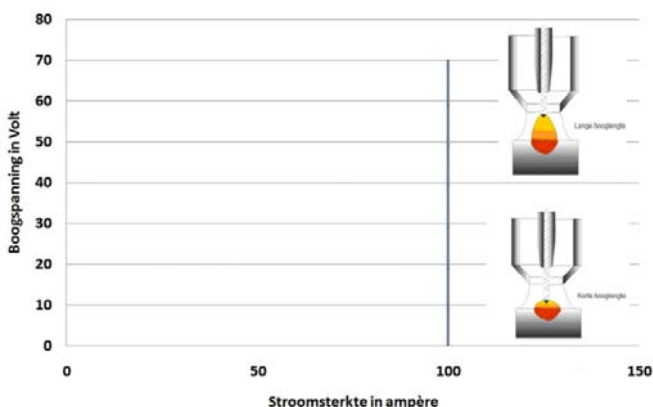
Aansluitend zal aan de hand van de traditionele opbouw van stroombronnen de werking van de statische karakteristiek van de stroombron kort worden toegelicht, omdat dit bijdraagt tot inzicht in het gedrag van stroombronnen tijdens het lassen. Voor een uitgebreide beschrijving wordt verwezen naar het uitstekende cursusmateriaal van de verschillende NIL lasopleidingen (www.nil.nl).

In traditionele stroombronnen worden twee verschillende statische karakteristieken onderscheiden, die elk hun eigen kenmerken en toepassingsgebied kennen; dit zijn:

- ▶ verticale, (af)vallende, dalende of steile karakteristiek, of ook wel statische karakteristiek voor een constante stroomsterkte genoemd (CC - Constant Current).
- ▶ horizontale, vlakke karakteristiek of ook wel statische karakteristiek voor een constante spanning genoemd (CP - Constant Potential).

2.3.1 Verticale, (af)vallende, dalende of steile karakteristiek

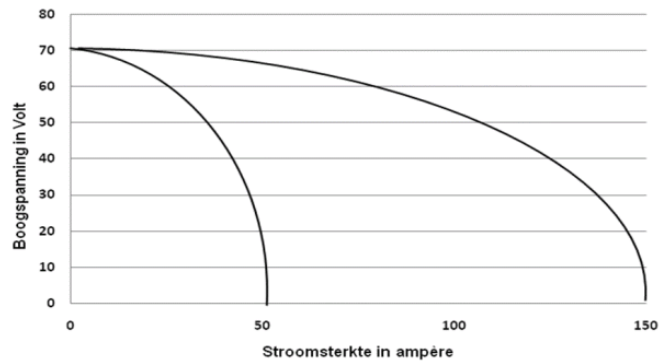
Bij het gebruik van een volledig verticale karakteristiek van de stroombron zullen booglengtevariëaties (= boogspanningvariëaties) geen invloed hebben op de stroomsterkte, zoals te zien is in figuur 2.2. Dit houdt in dat er altijd met de ingestelde stroomsterkte wordt gelast (in het voorbeeld 100 A).



figuur 2.2 Schematische weergave van een volledig verticale karakteristiek bij een ingestelde stroomsterkte van 100 A

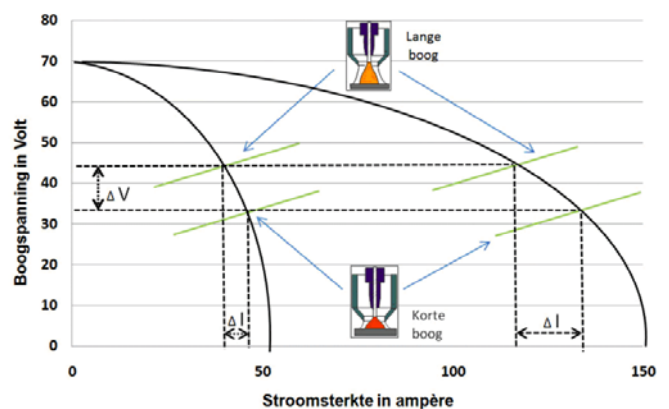
De praktijk leert echter dat er nooit een volledig verticale karakteristiek wordt verkregen bij het gebruik van stroombronnen met een transformator (inductieve weerstand).

De verticale karakteristiek van stroombronnen uitgerust met transformatoren verloopt schematisch als weergegeven in figuur 2.3.



figuur 2.3 Schematische weergave van het verloop van de verticale karakteristiek van een stroombron bij een ingestelde stroomsterkte van 50 respectievelijk 150 A

In figuur 2.3 zijn voor de duidelijkheid slechts twee karakteristieken getekend (50 en 150 A). In werkelijkheid geldt dat voor elke ingestelde stroomsterkte een dergelijke karakteristiek kan worden getekend. Wat opvalt in figuur 2.3 is, dat het verloop van de karakteristieken niet gelijk is. Bij lagere stroomsterkten wordt een meer verticale karakteristiek verkregen dan bij hogere stroomsterkten. Het gevolg van het gebruik van een verticale karakteristiek van de stroombron is, dat spanningsvariëaties (= booglengtevariëaties) slechts kleine variëaties van de stroomsterkte geven (zie figuur 2.4, linker karakteristiek). Hierdoor is het mogelijk een min of meer constante inbranding en warmte-inbreng te realiseren.



figuur 2.4 Schematische weergave van de relatie tussen de spanning en de stroomsterkte bij een stroombron met een dalende karakteristiek bij een laag ingestelde stroomsterkte (50 A) en een hoger ingestelde stroomsterkte (150 A). De groene lijnen zijn een schematische weergave van de boogkarakteristieken

De 'meer' verticale karakteristiek die wordt verkregen bij lagere stroomsterkten maakt dus dat er bij booglengtevariëaties slechts kleine stroomsterktevariëaties optreden. Dit is gunstig, omdat lage stroomsterkten gebruikt worden voor het maken van doorlassingen, het lassen van geringe materiaaldikten, of het lassen in positie. Dit zijn juist de situaties waarbij het laswerk kritisch is en er is daarom een zo klein mogelijke variatie van de stroomsterkte gewenst.

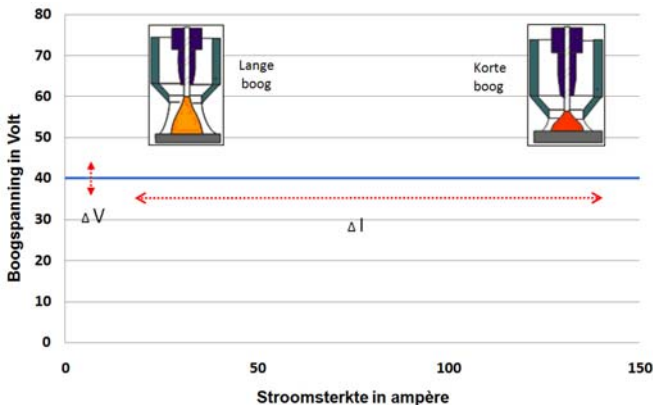
Bij hogere stroomsterkten wordt over het algemeen onder de hand gelast. De grotere stroomsterktevariëaties die worden verkregen doordat de karakteristiek van de stroombron 'minder' dalend is (rechter karakteristiek), zijn dan van minder invloed op de kwaliteit en uitvoering van het laswerk.

Vele booglasprocessen maken gebruik van stroombronnen met een dalende karakteristiek, waarvan de belangrijkste zijn:

- ▶ Bmbe lassen;
- ▶ TIG lassen;
- ▶ plasma lassen;
- ▶ onder poeder lassen met dikke draad.

2.3.2 Horizontale of vlakke karakteristiek

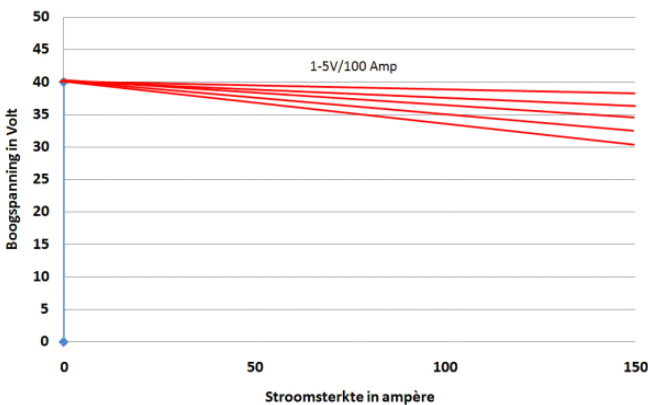
Bij het gebruik van een volledig horizontale karakteristiek van de stroombron zullen booglengtevariëaties (= boogspanningvariëaties) leiden tot een instabiel gedrag van de stroombron. De stroombron zal immers bij de geringste variatie van de boogspanning (booglengte) zijn maximale stroomsterkte leveren, danwel zijn stroomsterkte tot nul reduceren (zie figuur 2.5).



figuur 2.5 Schematische weergave van een volledig vlakke karakteristiek

In de praktijk wordt er daarom altijd gelast met een minder vlakke karakteristiek van de stroombron. Gebruikelijke waarden voor de hellingshoek van de karakteristiek liggen tussen de 1 en 5 V per 100 A.

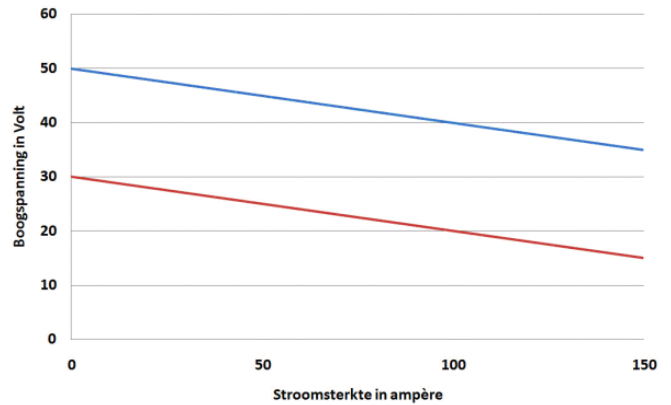
Naarmate er wordt gelast met een vlakkere karakteristiek van de stroombron zal deze sneller reageren, maar wordt de boog ook onrustiger. Bij sommige stroombronnen is de mogelijkheid ingebouwd om voor een bepaalde karakteristiek te kiezen bijvoorbeeld in de range van 1-5V/100A in stappen van 1 volt (zie figuur 2.6).



figuur 2.6 Schematische weergave van een karakteristiek waarvan de hellingshoek ingesteld kan worden in verschillende stappen

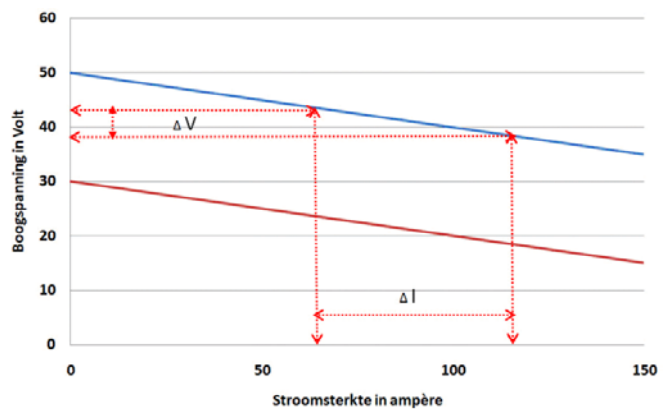
Op deze manier kan er dus worden gekozen of de stroombron snel reageert (1V/100A), dan wel trager reageert (5V/100A).

Figuur 2.7 toont de karakteristieken van een stroombron met een horizontale karakteristiek; voor de duidelijkheid zijn hierin slechts 2 karakteristieken getekend. In werkelijkheid geldt dat voor elke ingestelde spanning een dergelijke karakteristiek kan worden getekend.



figuur 2.7 Schematische weergave van het verloop van de horizontale karakteristiek van een stroombron voor twee ingestelde spanningen (30V en 50V)

Het gevolg van het gebruik van een horizontale karakteristiek is, dat spanningsvariëaties (= booglengtevariëaties) resulteren in zeer grote stroomsterktevariëaties (zie figuur 2.8).



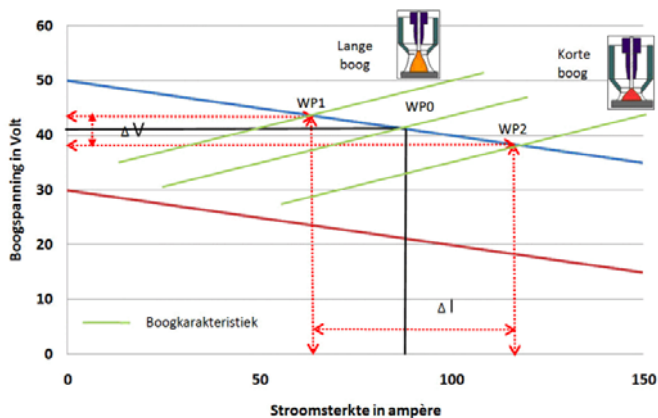
figuur 2.8 Schematische weergave van de stroom- en spanningsveranderingen bij variatie van de booglengte (boogspanning)

Het voordeel van een stroombron met een verticale karakteristiek is, zoals al eerder is aangegeven, dat de stroomsterkte bij booglengtevariëaties zoveel mogelijk constant blijft. Hierdoor wordt er zoveel mogelijk met een constante warmte-inbreng gelast en is de kwaliteit van de las reproduceerbaar.

Bij het lassen met een horizontale karakteristiek lijkt het omgekeerde het geval: relatief kleine booglengtevariëaties leiden immers tot grote stroomsterktevariëaties. Toch is dit ook een werkbare situatie, die zich als volgt laat verklaren. Stroombronnen met een horizontale karakteristiek worden ingezet voor het lassen met dunne, afsmeltende elektroden. In de praktijk houdt dit in dat een deel van de stroomsterktevariëaties niet wordt gebruikt om meer of minder warmte in het werkstuk te brengen, maar om meer of minder draad af te smelten. Wat gebeurt er namelijk bij booglengtevariëaties?

Als de booglengte groter wordt, wordt de boogspanning hoger en het werkpunt verschuift van WPO naar WP1 (zie figuur 2.9). Wordt de booglengte kleiner, dan gebeurt het omgekeerde: de stroomsterkte neemt af. Hierdoor wordt er minder draad afgesmolten en krijgt de (continu aangevoerde) lasdraad de gelegenheid dichter naar het smeltbad te komen (de booglengte wordt kleiner).

Bij het kleiner worden van de booglengte vindt uiteraard het omgekeerde plaats (werkpunt verschuift van WPO naar WP2). Dit corrigerende mechanisme, ook wel zelfregulerend effect van de boog genoemd, vindt plaats als de lasser zijn lastoorts tijdens het lassen beweegt of als de draadaanvoer niet regelmatig is (binnen beperkte grenzen). Door het gebruik van een horizontale karakteristiek van



figuur 2.9 Schematische weergave van de variaties in stroomsterkte en boogspanning in relatie tot booglengte veranderingen

de stroombron is op deze manier een eenvoudig en snel corrigerend mechanisme verkregen, dat ervoor zorgt dat de booglengte min of meer constant blijft tijdens het lassen. Doordat booglengtevariaties snel worden gecorrigeerd, is de warmte-inbreng tijdens het lassen zoveel mogelijk constant. Dit mechanisme werkt zoals gezegd alleen bij het lassen met relatief dunne lasdraden; voor dikke draden is het systeem niet toepasbaar.

Stroombronnen met een horizontale karakteristiek worden onder andere gebruikt voor de volgende booglasprocessen:

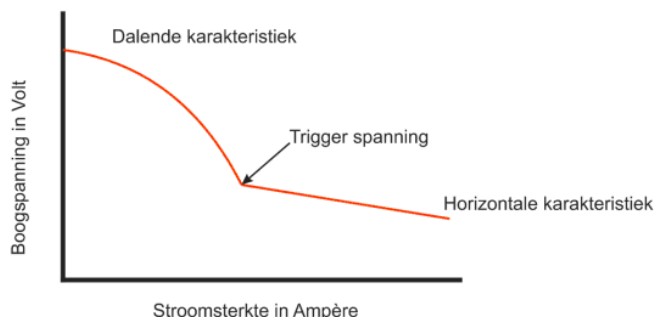
- ▶ MIG/MAG lassen;
- ▶ onder poeder lassen met dunne draden;
- ▶ elektrogas lassen.

2.3.3 Karakteristieken van moderne stroombronnen

Moderne stroombronnen maken gebruik van de mogelijkheden die de elektronica te bieden heeft. Hoewel de fundamentele principes, zoals hierboven beschreven, geldig blijven, is de manier waarop een en ander in de praktijk wordt gerealiseerd totaal verschillend.

In het kort worden hierna een aantal benaderingen weer gegeven.

Een van de eerste ontwikkelingen die de moderne elektronica bood was de combinatie van een verticale en horizontale karakteristiek van de stroombron. Dit maakte het mogelijk bijvoorbeeld met hetzelfde apparaat Bmbe/TIG (verticale karakteristiek) als MIG/MAG (horizontale karakteristiek) te lassen. De karakteristiek van dergelijke apparaten was zodanig opgebouwd, dat het eerste deel (hoge spanningen) verticaal verliep en het tweede deel horizontaal (lage spanningen), zie figuur 2.10 [12].



figuur 2.10 Elektronisch geregelde stroombron voorzien van een verticale en een horizontale karakteristiek [12]

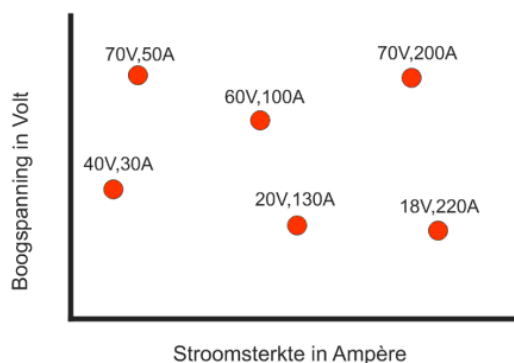
Bij het Bmbe lassen zorgt een dergelijke karakteristiek van de stroombron er bijvoorbeeld voor dat er makkelijker gestart kan worden en dat de elektrode minder snel vast-

vriest in het smeltbad bij korte booglengten (basische elektroden).

Dit type stroombron kan als een voorloper van de huidige generatie elektronisch geregelde stroombronnen worden gezien.

De ontwikkelingen volgden elkaar hierna in snel tempo op, waardoor de mogelijkheid ontstond te lassen met pulserende lasstroom en spanning, eerst met vaste van het lichtnet afgeleide frequenties (16, 25, 33, 50 en 100 Hz), en later met continu, variabele frequenties.

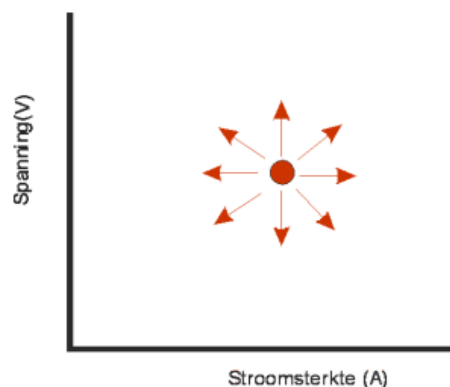
In moderne, elektronisch geregelde stroombronnen is het mogelijk binnen het bereik (I,V) van de stroombron, elke willekeurige combinatie van stroomsterkte en spanning aan te bieden aan de lasser. Dit is voor een aantal punten schematisch weergegeven in figuur 2.11.



figuur 2.11 Vrij programmeerbare combinaties van spanning en stroomsterkte bij een moderne, elektronisch gestuurde stroombron

De vraag is nu echter: hoe om te gaan met variaties van de booglengte? Zoals eerder aangegeven regelen de conventionele stroombronnen dit via de karakteristiek van de stroombron.

Bij moderne, elektronisch gestuurde stroombronnen is de elektronica zo snel, dat elk gekozen werkpunt (I,V) op elke willekeurige manier kan worden verschoven (zie figuur 2.12).



figuur 2.12 Schematische weergave van de volledig vrije verschuiving van het werkpunt)

Het probleem wordt nu: hoe kunnen/moeten de werkpunten worden verschoven als de booglengte verandert, waarbij een stabiele procesvoering gewaarborgd moet zijn? Dit vergt veel inzicht in enerzijds de mogelijkheden van de moderne elektronica en anderzijds kennis van de lastechniek.

Moderne stroombronnen worden daarom door fabrikanten 'voorgeprogrammeerd', waarbij het gedrag van de stroombron bij wisselende belastingen (booglengten) door de fabrikant is vastgelegd.

De 'voorgeprogrammeerde' relaties tussen de spanning en stroom worden 'synergische relaties' genoemd. Bij stroombronnen voor het MIG/MAG lassen is dit het verst

doorgevoerd. Bij deze stroombronnen zullen op basis van voorgeprogrammeerde, synergische relaties aan de ene kant en de door de lasser ingestelde parameters aan de andere kant (materiaal soort, materiaaldikte, draaddiameter beschermgas en laspositie), de beste instellingen voor het lassen worden gegenereerd. Hierbij wordt tevens vastgelegd hoe de stroombron zich zal gedragen bij variaties van de booglengte. Uiteraard is het op deze manier betrekkelijk eenvoudig om instabiele combinaties van de lasparameters (I, U) te vermijden. Hoewel de 'synergische basisgedachte' gelijk is, zijn fabrikanten hierbij tot zeer verschillende oplossingen gekomen; het gaat echter te ver in het kader van deze voorlichtingspublicatie hierop in te gaan. Dit verklaart echter wel waarom een lasser de ene stroombron 'prettiger' vindt om mee te lassen dan de andere, dit is immers direct gerelateerd aan het inzicht en de ervaring van de fabrikant en dus de door hem aangebrachte, voorgeprogrammeerde synergische relaties.

2.3.4 Dynamische karakteristiek

Naast de hiervoor besproken statische karakteristiek worden de laseigenschappen eveneens bepaald door de dynamische karakteristiek van de stroombron. De statische karakteristiek van de stroombron zegt iets over het gedrag van de stroombron bij (elektronisch gezien) betrekkelijk langzame veranderingen. De dynamische karakteristiek van de stroombron bepaalt hoe de stroombron zich gedraagt bij snel wisselende veranderingen. Dit soort snelle veranderingen is aanwezig bij bijvoorbeeld het MIG/MAG kortsluitbooglassen, het booglassen met beklede elektrode als de elektrode aangestreeken wordt, tijdens kortsluitingen bij overgaande metaaldruppels en bij het lassen met pulserende stroomsterkte.

De dynamische karakteristiek van de stroombron bepaalt hoe deze zich gedraagt bij plotselinge veranderingen van de stroom, spanning of boogweerstand. Een simpel voorbeeld maakt dit duidelijk. Inductieve weerstanden (transformatoren, spoelen) werken stroom- en spanningsveranderingen tegen. Dit is schematisch weergegeven in figuur 2.13.

In figuur 2.13 wordt een blokvormige puls aangeboden aan een spoel (= inductieve weerstand) voorzien van verschillende aftakkingen (meer of minder inductieve weerstand). Dit is bijvoorbeeld wat er gebeurt bij het inbrengen van een smoorspoel bij het MAG kortsluitbooglassen (alleen is de puls vorm hierbij niet zo mooi blokvormig). Elke keer als er een snelle stroom- of spanningsverandering optreedt, werkt de inductieve weerstand dit tegen. Dit houdt in dat, bij een plotselinge verandering van de stroom of spanning, het even duurt voordat de stroombron zich daadwerkelijk aangepast heeft (de stroom en

spanning ijlen na). Op deze manier kunnen fabrikanten het gedrag van de stroombron bij snelle stroom- en spanningsveranderingen beïnvloeden. De dynamische karakteristiek van de stroombron heeft dus te maken met de opbouw en sturing van de stroombron, de lasser vertaalt dit in de praktijk naar een prettige of juist minder prettige stroombron om mee te lassen. De invloed van de dynamische karakteristiek van een stroombron wordt minder naarmate er minder snelle veranderingen van de stroom en spanning optreden (bijvoorbeeld bij het openboog lassen). Dit is de reden dat de smoorspoel bij het MIG/MAG openboog lassen geen effect heeft.

3 Indeling van de verschillende typen stroombronnen

Stroombronnen hebben een zeer sterke ontwikkeling doorgemaakt vanaf circa 1920, dit is schematisch weergegeven in figuur 3.1.

Uiteraard volgde de ontwikkelingen elkaar op in geleidelijke overgangen, de aangegeven jaartallen in figuur 3.1 zijn slechts als indicatie bedoeld.

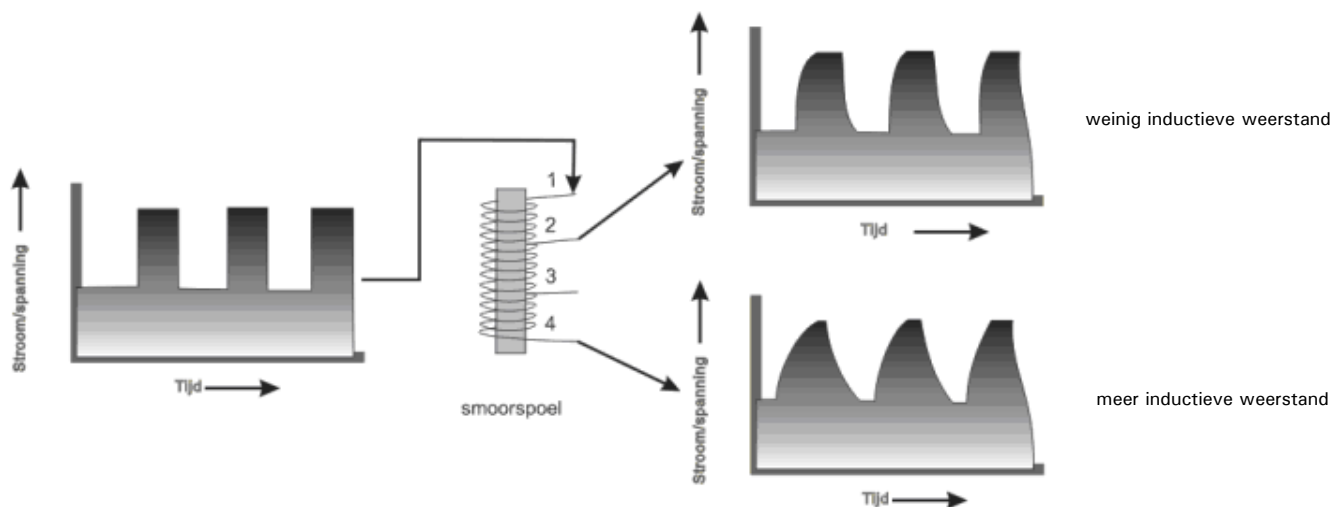
Het is mogelijk stroombronnen op vele manieren in te delen bijvoorbeeld: conventionele/moderne stroombronnen, analoge/digitale stroombronnen, schakelende en niet schakelende stroombronnen, enz. Figuur 3.14 op bladzijde 13 geeft de indeling aan op basis van conventionele en moderne stroombronnen.

In deze publicatie wordt echter de hoofdingeling van conventionele en moderne stroombronnen aangehouden. De grens wordt hierbij min of meer aangegeven door het gebruik van stuurbare componenten als thyristors en transistors.

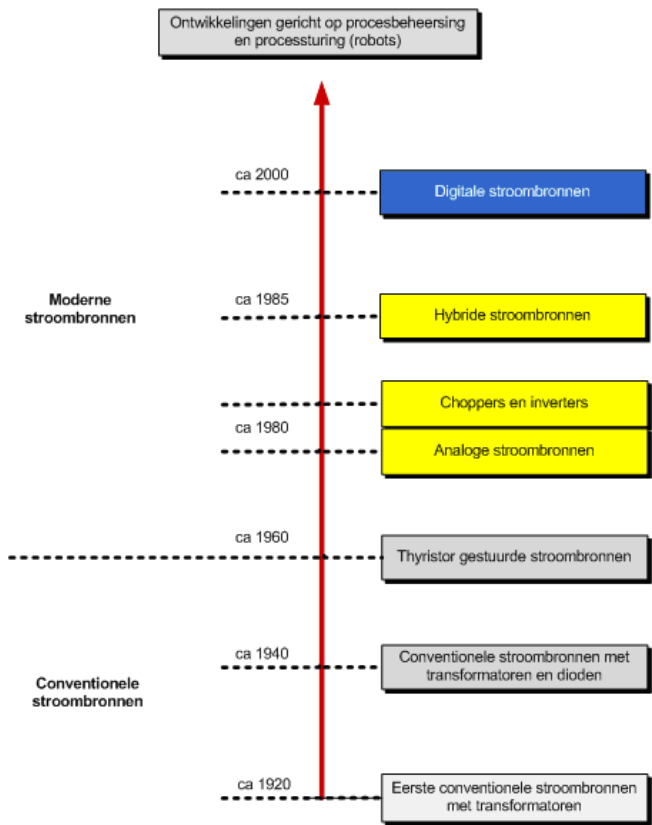
De laatst ontwikkelde conventionele stroombronnen maken gebruik van thyristors, die eveneens tot de stuurbare elektronische componenten gerekend worden. Hiermee valt een deel van dit type stroombronnen binnen de groep conventionele stroombronnen en een deel binnen de moderne stroombronnen. Lasaggregaten worden in deze publicatie buiten beschouwing gelaten, hoewel deze voor bepaalde sectoren uit de industrie een belangrijke 'stroombron' vormen.

3.1 Conventionele stroombronnen

Conventionele stroombronnen zijn meestal opgebouwd uit een transformator en een mogelijkheid om de stroom of spanning te regelen. Dit type stroombron wordt gebruikt voor het wisselstroomlassen. Voor het lassen met gelijk-

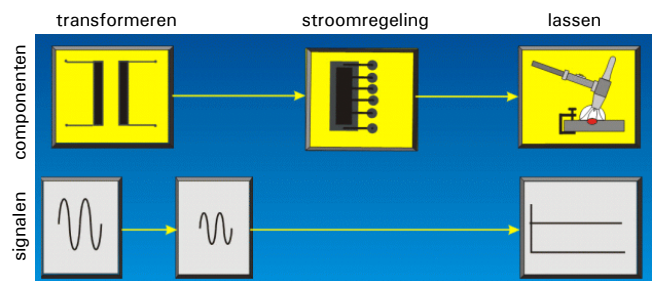


figuur 2.13 Schematische weergave van de werking van een inductieve weerstand (spoel) in een elektrisch circuit bij snelle veranderingen van de stroom of spanning

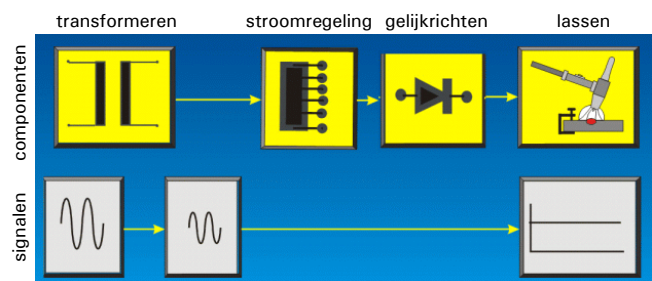


figuur 3.1 Schematische weergave van het ontwikkelingspad van stroombronnen

stroom is de opbouw echter gelijk met als enige verschil dat er een gelijkrichteenheid is toegevoegd om de wisselstroom/-spanning om te zetten naar gelijkstroom/-spanning (zie de figuren 3.2 en 3.3).



figuur 3.2 Schematische opbouw van een conventionele stroombron voor het wisselstroomlassen (transformator + stroomregeling)



figuur 3.3 Schematische opbouw van een conventionele stroombron voor het gelijkstroomlassen (transformator + stroom-/spanningsregeling en gelijkrichter)

De opbouw van deze stroombronnen is simpel en ze zijn voorzien van betrekkelijk weinig elektronica. Dit maakt dit soort stroombronnen robuust en betrouwbaar en is de reden

dat dit type stroombronnen nog steeds in de industrie worden gebruikt. De mogelijkheden om specifieke voorzieningen (bijvoorbeeld lassen met pulserende stroom) in te bouwen in deze stroombronnen is niet of beperkt (thyristorapparatuur) aanwezig.

De stroom of spanning kan bij dit type stroombronnen op verschillende manieren worden geregeld. In het begin waren dit vooral mechanische regelingen als:

- ▶ aftakkingen van de transformator;
- ▶ shuntregeling.

Met het verbeteren van de elektronica kwamen hier later de volgende mogelijkheden bij om de stroom of spanning te regelen:

- ▶ via een variabele inductie (spoel);
- ▶ door het gebruik van een transductor (elektronisch regelbare spoel);
- ▶ door middel van thyristors (wisselstroom/-spanning).

Hoewel dergelijke regelingen van de stroom en spanning, naar de huidige stand van de techniek, misschien primitief en weinig nauwkeurig overkomen, waren het indertijd beproefde technieken die betrouwbaar en functioneel waren.

3.2 Moderne stroombronnen

De ontwikkeling van moderne stroombronnen kwam vanuit twee kanten op gang: vanuit de mogelijkheden die de moderne elektronica bood en vanuit de behoefte van de gebruiker om het lassen met robots uit te voeren. Met de komst van snelle elektronische componenten, die een hoog vermogen konden verwerken, trad een nieuw tijdperk in op het gebied van stroombronnen. Thyristors, transistors en andere componenten deden hun intrede in de lastechniek.

Het is niet de bedoeling in detail op de werking van deze componenten in te gaan. Wel is het goed om aan te geven dat transistors op twee manieren gebruikt kunnen worden in de elektronica te weten:

- 1) als regelbare weerstand;
- 2) als elektronische schakelaar.

Beiden manieren hebben hun voor- en nadelen en dus hun specifieke toepassingsgebieden.

Het gebruik van elektronische componenten zorgt enerzijds voor een uitgebreid scala aan instel- en aanstuurmogelijkheden en maakt het anderzijds mogelijk lasparameters terug te koppelen, waardoor een stabiele procesvoering mogelijk wordt.

Tot de moderne stroombronnen worden gerekend de:

- ▶ elektronisch geregelde analoge stroombron;
- ▶ chopper;
- ▶ inverter.

Zowel de chopper (§ 3.2.2) als de inverter (§ 3.2.3) zijn 'schakelende' stroombronnen; dat wil zeggen dat de transistors in deze stroombronnen gebruikt worden als schakelaar. Vanwege hun opbouw worden choppers secundair schakelende stroombronnen genoemd en inverters worden primair schakelende stroombronnen genoemd.

De strijd tussen de chopper en inverter is op basis van de uitvoering (afmetingen), mogelijkheden, prijs en kwaliteit uiteindelijk in het voordeel van de inverter beslist, gezien het gebruikspercentage van inverters voor het lassen in de industrie. In tabel 3.1 is een schatting gemaakt van het gebruikspercentage van de verschillende moderne stroombronnen binnen Nederland.

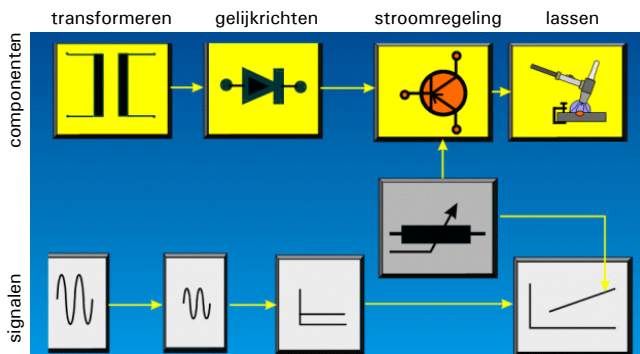
tabel 3.1 Schatting van het gebruikerspercentage van de verschillende moderne stroombronnen die in Nederland worden ingezet

type stroombron	gebruikspercentage
analoog	1
chopper	9
inverter	90

Het feit dat de inverter het meeste gebruikt wordt, wil niet zeggen dat de andere typen stroombronnen 'minder' goed zouden zijn; slechte stroombronnen worden niet meer gemaakt. Inverters en choppers kunnen worden gebruikt voor meerdere lasprocessen, waaronder het MIG/MAG, TIG, Bmbe en het puntlassen.

3.2.1 Elektronisch geregelde analoge stroombron

Een elektronisch geregelde stroombron bestaat uit drie basisblokken: de transformator, een gelijkrichteenheid en een regeleenheid voor de stroomsterkte of lasspanning; deze onderdelen zijn schematisch weergegeven in figuur 3.4.



figuur 3.4 Schematische weergave van een elektronisch geregelde analoge stroombron (transformator + gelijkrichter + transistor regeleenheid)

Bij een elektronisch geregelde analoge stroombron worden de transistors als een regelbare weerstand in het secundaire circuit gebruikt om de stroomsterkte/lasspanning traploos in te kunnen stellen. Omdat in elektronisch geregelde analoge stroombronnen door de transistors veel warmte wordt ontwikkeld zijn deze meestal op vloeistof gekoelde, koperen blokken gemonteerd om hun warmte goed af te kunnen voeren. Elektronisch geregelde analoge stroombronnen gaan weinig efficiënt om met hun energie, het volgende voorbeeld maakt dit duidelijk. Stel dat een elektronisch geregelde analoge stroombron maximaal 4,5 kW aan energie kan ontwikkelen voor het lassen (bijvoorbeeld $15\text{ V} \times 300\text{ A}$) en er wordt voor het lassen maar 1,5 kW gevraagd (bijvoorbeeld $15\text{ V} \times 100\text{ A}$), dan moet de overtollige 3kW die in de transistors in de vorm van warmte wordt ontwikkeld worden afgevoerd door het koelwater. Het zal duidelijk zijn dat dit, uit oogpunt van het economisch omgaan met energie, niet erg efficiënt is. Met name in de beginperiode van de elektronisch geregelde analoge stroombronnen waren de grote hoeveelheden watergekoelde transistors (cascades) een zwak punt van dit type stroombronnen. De huidige generatie transistors kunnen echter grotere vermogens verwerken en zijn hierdoor minder kwetsbaar en dus betrouwbaarder. De slechte efficiëntie is echter niet veel verbeterd.

Elektronisch geregelde analoge stroombronnen zijn vanuit elektronisch oogpunt gezien de 'Rolls Royce' onder de stroombronnen, gekenmerkt door snelle responstijden en een rimpelloos uitgangssignaal. Door de snelheid waarmee transistors werken is het mogelijk lasdata te meten en terug te koppelen naar de stroombron. Hierdoor zijn snelle en betrouwbare regelsystemen mogelijk. Interfaces maken het mogelijk dit soort stroombronnen (dit geldt echter voor elke moderne stroombron) te koppelen aan bijvoorbeeld lasrobots of andere programmeerbare lasapparatuur. Naast het lassen met een continue stroom kan een elektronisch geregelde analoge stroombron ook uitstekend worden ingezet voor het lassen met pulserende stroom. In principe kan met een elektronisch geregelde analoge stroombron tot 20 kHz elke gewenste pulsform worden verkregen met zeer korte stijg- en daaltijden ("up-slope" en "down-slope").

Dit maakt de elektronisch geregelde analoge stroombron uitstekend geschikt voor bijvoorbeeld het pulserend MIG/MAG lassen. Bij het pulserend MIG/MAG lassen wordt over het hele frequentiegebied, een nagenoeg gelijkvormige pulsform verkregen. Hierdoor is eenvoudig te voldoen aan de eis dat er één druppel per puls moet worden afgesplitst.

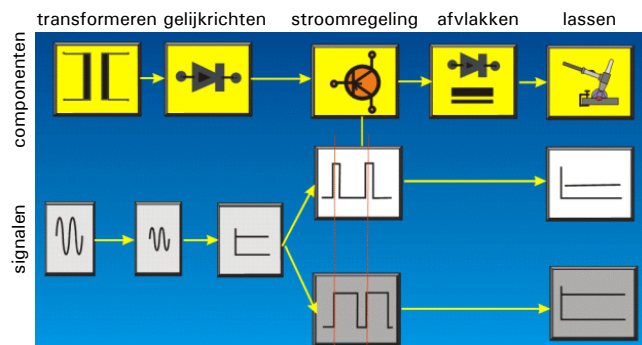
Elektronisch geregelde analoge stroombronnen vergen een aanzienlijke investering door de speciale voorzieningen die nodig zijn om de transistors te koelen in combinatie met (dure) hoog vermogen transistors. Daarnaast vraagt maar een beperkt aantal toepassingen om de nauwkeurige specificaties van de elektronisch geregelde analoge stroombron. Dit maakt dat dit type stroombronnen alleen worden ingezet als de kwaliteit van het laswerk primair bepaald wordt door de kwaliteit van de stroomsterkte en spanning waarmee wordt gelast.

In de industrie komen we dit type stroombronnen voor het lassen daarom nog maar weinig tegen en dan alleen nog maar voor het lassen onder kritische omstandigheden waar het noodzakelijk is met een zo stabiel mogelijke boog (stroomsterkte en spanning) te lassen. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het lassen met zeer lage stroomsterkten van dunne materialen (folie) of elektronica-componenten of het gecontroleerd pulserend MIG/MAG lassen van kritische onderdelen.

Naast enkele industriële toepassingen worden elektronisch geregelde analoge stroombronnen voor het lassen nog wel gebruikt in laboratoria van kennisinstellingen en universiteiten voor onderzoek op het gebied van het lassen. Industrieel gezien kan worden gesteld dat elektronisch geregelde analoge stroombronnen voor het lassen vrijwel geen rol van betekenis meer spelen. De belangrijkste kenmerken van elektronisch geregelde analoge stroombronnen worden weergegeven in tabel 3.2.

3.2.2 Chopper

Een chopper of secundair schakelende stroombron bestaat uit vier basisblokken: de transformator, een gelijkrichteenheid, een regeleenheid voor de stroomsterkte en een afvlakmoorspoel. Deze onderdelen zijn schematisch van links naar rechts weergegeven in figuur 3.5.



figuur 3.5 Schematische weergave van een chopper (transformator + gelijkrichter + transistor -als schakelaar + afvlakmoorspoel)

De chopper kent een 'traditionele' opbouw; dat wil zeggen dat eerst de hoge netspanning wordt getransformeerd naar een lagere waarde. Deze 'traditionele' opbouw zorgt ervoor dat het gewicht van de chopper vergelijkbaar is met dat van de conventionele stroombronnen. Na de transformator is een gelijkrichter geplaatst met een buffercondensator.

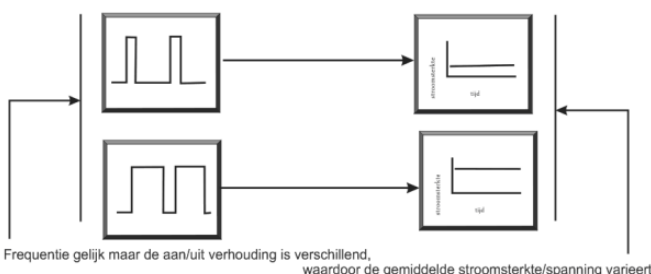
Hierna volgt het elektronische regelcircuit van in serie geplaatste transistors die met hoge frequenties worden in- en uitgeschakeld. In choppers worden de transistors dus gebruikt als schakelaars die kortstondig in- en uitschakelen. Er ontstaat een blokvormig stroom- en spanningsverloop. Theoretisch kent een ideale transistorschakelaar, in de

tabel 3.2 Samenvatting van de kenmerken van de verschillende typen stroombronnen

kenmerk	conventioneel		modern		
	dioden	thyristors	analoog	chopper	inverter
elektrisch aanstuurbaar/regelbaar	nee	beperkt	ja	ja	ja
reactiesnelheid	-	+ / -	++	+	+
geschiktheid voor kritische toepassingen (hoge stabiliteit stroom en spanning gewenst)	-	-	++	+	+
keuze karakteristiek (CP/CV)	nee	nee	ja	ja	ja
traploos instelbare smoorspoel	nee	nee	ja	ja	ja
elektrisch rendement	+	+	-	+	++
belasting transistors	x	x	hoog	laag	laag
gevoeligheid voor netspanningsvariaties	beperkt	beperkt	nee	nee	beperkt
geschatte technische levensduur (jaren) ^{a)}	> 20	10 - 20	5 - 10	7 - 20	7 - 15
aanschafprijs (alleen stroombron)	laag	gemiddeld	zeer hoog	hoog	hoog
gewicht	hoog	hoog	hoog	hoog	laag
koelmedium transistors	x	x	koelvloeistof	lucht	lucht
prijs/prestatieverhouding	+	+	+ / -	++	++
rimpel op uitgangssignaal	groot	groot	geen	gemiddeld	gemiddeld
storingsgevoeligheid	laag	laag	hoog	gemiddeld	gemiddeld
te koppelen aan robot	nee	(ja)	ja	ja	ja
op afstand te bedienen/programmeren	nee	nee	ja	ja	ja
digitalisering mogelijk	nee	nee	ja	ja	ja

- = minder gunstig; ++ = zeer gunstig; x = niet aanwezig/niet van toepassing
a) afhankelijk van de gebruiksomstandigheden.

open of dichte toestand, geen vermogensverlies. Deze ideale toestand wordt echter in de praktijk nooit bereikt. Het verlies aan vermogen is echter zeer beperkt, zodat de chopper (en ook de inverter, § 3.2.3) met een veel gunstiger elektrisch rendement werkt dan een elektronisch geregelde analoge stroombron. Een ander voordeel van halfgeleiderschakelingen is, dat met betrekkelijk kleine (stuur)vermogens zeer grote (uitgangs)vermogens kunnen worden geschakeld. Zo kan bijvoorbeeld 20 kW (40V - 500A) eenvoudig worden geschakeld door enkele Watts aan stuurvermogen. Doordat het uitgangssignaal secundair wordt geschakeld, ontstaat er altijd een rimpel op de uitgaande spanning die, als hier niets aan gedaan zou worden uit oogpunt van het lassen, onacceptabel zou zijn. Vandaar dat in dit type stroombronnen altijd een afvlak-eenheid aanwezig is, die ervoor moet zorgen dat de stroomsterkte en lasspanning voor het lassen niet te veel fluctueert. Door het verhogen van de schakelfrequenties in moderne stroombronnen wordt de rimpel echter steeds kleiner. De stroomsterkte bij schakelende stroombronnen (chopper en inverter) wordt meestal geregeld door de aan/uit verhouding van de schakelende transistors te variëren zoals is weergegeven in figuur 3.6 [13].



figuur 3.6 Methode waarop bij schakelende stroombronnen (choppers en inverters) de stroomsterkte wordt geregeld (Pulse Width Modulated - PWM) [13]

In het begin werd voor het instellen van de stroomsterkte ook wel de frequentie gevarieerd (Frequentie Modulated), dit wordt echter vrijwel niet meer gebruikt, omdat deze methode, vooral bij de lage frequenties, zeer irritant (geluid) is voor de gebruiker.

De snelheid waarmee de stroombron reageert op veranderingen tijdens het lassen, is afhankelijk van de schakelfrequentie van de transistors. De schakelfrequentie ligt voor moderne choppers meestal tussen de 25 en 80 kHz. Hoe hoger de schakelfrequentie, des te kleiner de rimpel is op het uitgangssignaal en des te sneller kan de stroombron reageren op veranderingen. De chopper kan ook als wisselstroombron worden gebruikt en er kan uiteraard met pulserende gelijkstroom worden gelast.

De chopper heeft een hoog elektrisch rendement, is geschikt voor hoge stroomsterkten en is duurzaam. Voor toepassingen waar mobiliteit van de lasapparatuur gewenst is, kan het hoge gewicht van de chopper een beperking zijn.

Het hoge gewicht wordt veroorzaakt door de grote transformator en smoorspoel die nodig zijn voor het transformeren van de netspanning naast de afvlakking van het spanningsignaal. Algemeen kan worden gesteld dat de chopper een betrouwbare en robuuste stroombron is. Kort samengevat kunnen als kenmerken van de chopper worden genoemd:

- ▶ als eerste worden de spanning en stroom getransformeerd;
- ▶ de dalende karakteristiek wordt gerealiseerd door de transformator, niet kunstmatig met meet- en regeltechniek;
- ▶ constante lasstroom en -spanning over de gehele levensduur en daardoor zeer geschikt voor gemechaniseerd/geautomatiseerd lassen omdat de lasparameters constant blijven;
- ▶ makkelijk elektronisch regelbaar;
- ▶ hoog gewicht en grote afmetingen (minder gemakkelijk verplaatsbaar);
- ▶ robuuste bouw, uitstekend geschikt voor industriële omgevingen;
- ▶ technische levensduur, afhankelijk van de gebruiksomstandigheden, tussen de 7 en 20 jaar;
- ▶ gunstig elektrisch rendement;
- ▶ volledige digitalisering mogelijk;
- ▶ programmering op afstand mogelijk (via internet);
- ▶ uitstekend te koppelen aan lasrobots.

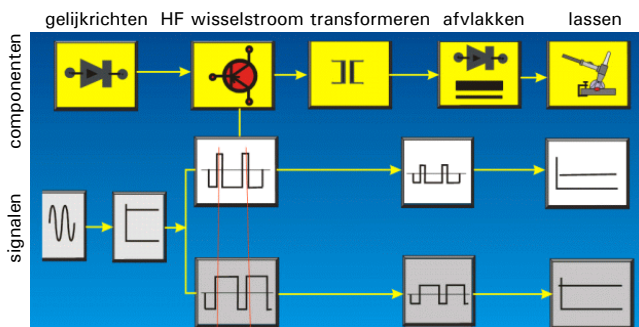
In figuur 3.7 is een drietal moderne chopper stroombronnen weergegeven.



figuur 3.7 Een drietal moderne choppers van: a) Cloos; b) Lincoln-Smitweld; c) Venvulas

3.2.3 Inverter

De inverter of primair schakelende stroombron kan zowel met thyristors als transistors zijn uitgerust. De tendens is hierbij steeds meer om transistors toe te passen, omdat deze in staat zijn te werken met hoge schakelfrequenties, waardoor snelle regelingen mogelijk zijn. Inverters zijn fundamenteel anders opgebouwde stroombronnen, zoals te zien is in het schema in figuur 3.8.

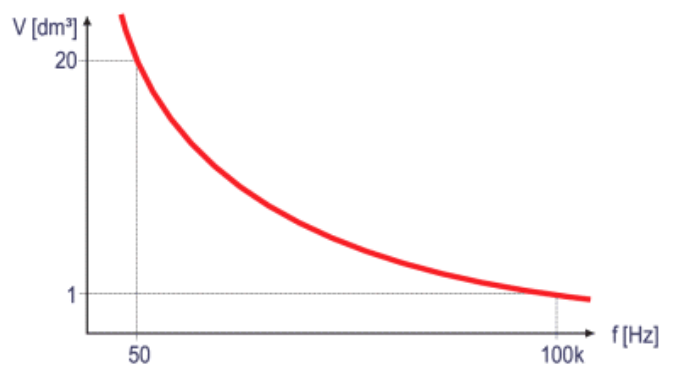


figuur 3.8 Schematische weergave van een inverter (gelijkrichter + transistorschakelaar + hoogfrequent transformator + gelijkrichter gecombineerd met afvlakeenheid)

De inverter bestaat uit vier basisblokken: een gelijkrichteenheid + een schakeleenheid (inverter) gecombineerd met stroomsterkteregeling + een hoogfrequent transformator + een gelijkrichter gecombineerd met afvlakeenheid. Deze onderdelen zijn van links naar rechts weergegeven in figuur 3.8. Het fundamentele verschil met alle voorgaande stroombronnen is, dat bij de inverter als eerste de primaire wisselstroom/-spanning gelijkgericht wordt. Bij alle andere stroombronnen worden altijd eerst de wisselstroom en -spanning getransformeerd. Bij een inverter vormt dus niet een transformator het eerste blok, maar een gelijkrichteenheid. Na het gelijkrichten van de wisselstroom en -spanning wordt deze door (schakelende) transistors omgezet naar een hoogfrequente wisselstroom/-spanning. Afhankelijk van het type stroombron en de gebruikte componenten lopen de schakelfrequenties hierbij uiteen van 25 tot 100kHz. De hoge gelijkstroom/-spanning wordt dus intern in de stroombron geïnverteerd (omgezet) naar hoogfrequente wisselstroom/-spanning, vandaar de naam inverter voor dit type stroombronnen. De hoogfrequente wisselspanning (380-400 Volt) wordt getransformeerd naar een lagere veilige wisselspanning voor het lassen. Doordat er bij een inverter hoogfrequente wisselspanning (25-100 kHz) wordt getransformeerd, is het mogelijk gebruik te maken van

kleine transformatoren. Als er een wisselspanning met een frequentie van 50 Hz (gebruikelijke netfrequentie in Europa), getransformeerd moet worden is er een veel grotere massa van de transformator noodzakelijk.

Dit is te zien in figuur 3.9 waar de relatie is weergegeven tussen het volume van de transformator en de frequentie van te transformeren stroom bij een gelijk te transformeren vermogen [1][6][7][10].



figuur 3.9 Schematische weergave van de relatie tussen het volume van de transformator en de frequentie van de transformeerstroom bij een gelijk te transformeren vermogen [1]. Op horizontale as weergegeven: 50 Hz en 100 kHz

Figuur 3.9 toont dat, bij een gelijk te transformeren vermogen, de transformator bij een wisselstroom met een frequentie van 50 Hz een 20 × zo groot volume moet hebben als bij een wisselstroom met een frequentie van 100.000 Hz (100 kHz).

De kleine afmetingen en het lichte gewicht zijn dan ook belangrijke voordelen van een inverter. Inverters zijn (bij gelijk vermogen uiteraard) ongeveer 75% lichter en 65% kleiner dan een conventionele stroombron.

Inverters zijn evenals choppers elektronisch gemakkelijk te sturen en te regelen. Een nadeel van de eerste generatie inverters was, dat deze gevoeliger waren voor netspanningvariaties dan de chopper. Niet dat de inverter netspanningvariaties niet kon nivelleren, maar de elektronische componenten werden door netspanningvariaties zwaarder belast, wat de levensduur verkortte. De huidige generatie inverters zijn aanzienlijk beter, waardoor dit nadeel vrijwel geëlimineerd is.

Ook voor de inverter geldt, dat er altijd op het uitgangssignaal (spanning en stroom) een rimpel aanwezig is. Deze rimpel kan eenvoudig worden afgevlakt en heeft dan geen invloed meer op de kwaliteit van de las. De

hoge schakelfrequenties van de transistors veroorzaken echter wel elektromagnetische straling. Stroombronnen voor het lassen moeten evenals alle apparaten die elektromagnetische straling uitzenden, voldoen aan de Europese EMC (Elektro Magnetische Compatibiliteit) richtlijn. Fabrikanten van alle (schakelende) stroombronnen zijn tegenwoordig in staat hun apparatuur zodanig af te schermen, dat ze voldoen aan de EMC richtlijn.

Een inverter is een betrouwbare stroombron, die misschien wat minder 'robuust' lijkt door zijn geringe afmetingen, maar dit zeker niet is. Inverters kennen een veel beter elektrisch rendement dan de elektronisch geregelde analoge stroombronnen en zijn daarom veel energie zuiniger [8]. Zowel wat betreft mogelijkheden als kwaliteit zijn er betrekkelijk weinig verschillen tussen een inverter en een chopper; de meest in het oog lopende verschillen betreffen hun gewicht en afmetingen.

Kort samengevat kunnen de volgende kenmerken worden genoemd van de inverter stroombron:

- ▶ makkelijk regelbaar, maar gevoelig voor netspanningsvariaties en vooral voor optredende pieken in de netspanning;
- ▶ compact van bouw met een gering gewicht (gemakkelijk verplaatsbaar);
- ▶ technische levensduur, afhankelijk van de gebruiksomstandigheden, tussen de 7 en 15 jaar;
- ▶ gunstig elektrisch rendement (tot ca. 90%) [8];
- ▶ volledige digitalisering mogelijk;
- ▶ programmering op afstand mogelijk bijvoorbeeld via internet;
- ▶ uitstekend te koppelen aan lasrobots.

Figuren 3.10 en 3.11 geven twee voorbeelden van moderne inverter stroombronnen.



figuur 3.10 Inverter stroombron (OTC)



figuur 3.11 Inverter stroombron (Panasonic)

3.2.4 *Hybride stroombron*

De hybride stroombron is, zoals de naam al doet vermoeden, opgebouwd uit twee typen stroombronnen die elektronisch aan elkaar gekoppeld zijn. Vrijwel altijd wordt hierbij een elektronisch geregelde analoge stroombron gekoppeld aan een chopper. De achterliggende gedachte bij de ontwikkeling van dit type stroombron was de voordelen van de beide stroombronnen (analoog + chopper) te combineren en de nadelen zoveel mogelijk te elimineren. Het elektronisch geregelde analoge deel van deze stroombron wordt gebruikt bij lage stroomsterkten, als er een zo stabiel mogelijke boog gewenst is. Het feit dat het elektronisch geregelde analoge deel alleen bij lage stroomsterkten wordt gebruikt, maakt dat de transistors niet watergekoeld hoeven te worden. Bij het pulserend lassen zorgt het elektronisch geregelde analoge deel bijvoorbeeld voor een stabiele basisstroom die voornamelijk gebruikt wordt om de boog in stand te houden tijdens deze periode van lage stroomsterkte. Zodra de gevraagde stroomsterkte hoger wordt dan een (door de fabrikant) ingestelde drempelwaarde, neemt de chopper het over en gedraagt de hybride stroombron zich als een chopper.

In de jaren 90 is een aantal commerciële hybride stroombronnen op de markt gebracht.

De meerwaarde van dit soort stroombronnen is echter onvoldoende duidelijk gebleken, zodat, voor zover bekend, dit type stroombronnen niet meer wordt geleverd in Nederland. Voor de volledigheid is de hybride stroombron echter nog wel opgenomen in de deze voorlichtingspublicatie, hij is echter niet meer opgenomen in het overzicht van tabel 3.2.

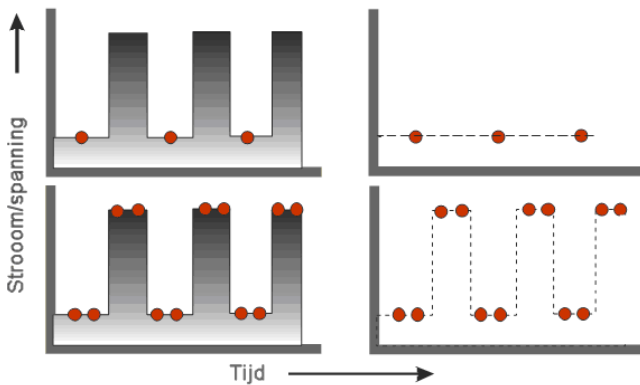
Tabel 3.2 geeft een overzicht van de belangrijkste kenmerken en mogelijkheden van de verschillende typen stroombronnen.

3.3 *Van analoog naar digitaal*

Het belangrijkste verschil tussen analoog en digitaal betreft de manier waarop signalen worden verwerkt. Bij de digitale technologie wordt het oorspronkelijk signaal omgezet in een stroom bits (nullen en enen), terwijl bij de analoge technologie het werkelijke (momentane) signaal steeds analoog is, dus volledig gelijk of gelijkvormig aan het oorspronkelijke signaal.

De grootste beperking van analoge signaalverwerking is de ruis op het signaal. Elk elektronisch signaal is onderhevig aan ruis: willekeurige en ongewenste signaalfluctuaties. Het ontstaan van ruis maakt het onmogelijk om signaalverlies en vervorming van het signaal te corrigeren; wanneer het signaal immers wordt versterkt, wordt de ruis mee versterkt. Digitale signalen kennen dit probleem ook, maar hier kan de ruis op eenvoudige wijze worden gescheiden van het oorspronkelijke signaal. Hiernaast is het grote voordeel dat digitale signalen makkelijker te verwerken zijn; elke microprocessor (bijvoorbeeld de PC) werkt immers met digitale signalen. De keuze tussen digi-

taal en analoog vinden we tegenwoordig bij tal van gebruiksartikelen zoals bij horloges en klokken, de langspeelplaat contra de CD en analoge contra de digitale televisie. Analoge signalen kunnen eenvoudig worden omgezet naar digitale signalen met zogenaamde analoog/digitaal (A/D) converters. Wanneer echter een analoog signaal naar een digitaal signaal moet worden omgezet, moet er een keuze worden gemaakt ten aanzien van het aantal stappen dat moet worden gebruikt voor deze conversie. Populair gezegd: in hoeveel 'stukjes' moet het analoge signaal worden 'geknipt' om nog een betrouwbare weergave te vormen van het oorspronkelijke signaal. Figuur 3.12 maakt dit duidelijk.



figuur 3.12 Omzetten van een analoog naar een digitaal signaal

In figuur 3.12 is links (donker gekleurd) het oorspronkelijke, blokvormige analoge signaal te zien. Bij het omzetten naar een digitaal signaal wordt dit analoge signaal opgedeeld in 'meetpunten'; hier weergegeven door de rode stippen. Als er slechts 3 meetpunten gebruikt zouden worden dan zou het digitale signaal eruit kunnen zien als een rechte lijn (rechts).

Door te weinig meetpunten te gebruiken wordt dus een verkeerd beeld van het analoge signaal verkregen. Als het aantal meetpunten wordt vergroot, neemt de betrouwbaarheid van het gegenereerde digitale signaal toe, zoals te zien is in het onderste deel van figuur 3.12. Vaak wordt het aantal 'meetpunten' begrensd door de technische mogelijkheden. Soms is er misschien wel meer informatie, maar is het niet zinvol om deze vast te leggen. Fabrikanten moeten hierbij dus keuzes maken die van invloed zijn op de kwaliteit of het gedrag van hun producten (stroombronnen).

3.3.1 Analoge stroombronnen

Onder analoge stroombronnen wordt in deze paragraaf niet alleen verstaan de elektronisch geregelde stroombron die in § 3.2.1 is beschreven. Het begrip analoge stroombron dat in deze paragraaf wordt gehanteerd, is veel ruimer. Analoge stroombronnen zijn stroombronnen die ofwel zonder signaalprocessor werken (conventioneel: diode of thyristor gestuurd), dan wel voorzien zijn van een analoge signaal processor (ASP). Analoge signaalprocessors worden gebruikt bij analoge stroombronnen, choppers en inverters die gebouwd zijn voor het jaar 2000.

Tot eind jaren negentig waren stroombronnen voornamelijk analoog. Dit wil zeggen dat er met "echte" signalen werd gewerkt. Stroom was stroom en spanning was spanning. De doorbraak van vooral de (digitale) Personal Computer maakte dat de digitale techniek steeds verder werd ontwikkeld en tegenwoordig steeds meer wordt toegepast bij de signaalverwerking. Ook stroombronnen voor het lassen ontkomen niet aan deze trend. Een groot voordeel is, dat digitale signalen makkelijker en veel sneller

te sturen zijn dan analoge signalen en dat ze altijd dezelfde (eenmaal ingestelde) waarde behouden (grote reproduceerbaarheid).

De nadelen van analoge stroombronnen kunnen als volgt worden samengevat:

- ▶ analoge stroombronnen zijn moeilijker aan te sturen;
- ▶ analoge stroombronnen zijn gevoelig voor fluctuaties van de ingangsspanning, wisselende ingangsspanning leidt tot een wisselende uitgangsspanning;
- ▶ bij analoge stroombronnen, zelfs uit dezelfde serie (batch), verschillen altijd de prestaties tengevolge van de spreiding bij het maken van de onderdelen;
- ▶ analoge stroombronnen moeten regelmatig(er) worden gekalibreerd.

De wensen van de gebruiker spelen een belangrijke rol bij de omschakeling van analoge naar digitale stroombronnen. Gebruikers geven aan dat de volgende aspecten steeds belangrijker worden [6]:

- ▶ hoge eisen ten aanzien van de prestaties en kwaliteit;
- ▶ 100% reproduceerbaarheid;
- ▶ eenvoudig te bedienen/ gebruikersvriendelijk met liefst:
 - o éénknopsbediening (synergische afstelling);
 - o veiligheidsmaatregelen ter voorkoming van verkeerd gebruik;
 - o eenvoudig te onderhouden;
 - o opslag van lasprogramma's;
 - o opslag van actuele lasdata en parameterbewaking.

Veel van deze eisen zijn moeilijk of slechts tegen hoge kosten te realiseren in analoge stroombronnen. Hierbij komt nog dat tegenwoordig veel stroombronnen worden gebruikt in combinatie met lasrobots. Robots worden grotendeels aangestuurd en geprogrammeerd met digitale signalen. Signalen uit een analoge stroombron moeten dus eerst worden omgezet naar digitale signalen wil de robot er iets mee kunnen. Digitale stroombronnen zijn daarom veel makkelijker te koppelen aan robots en kunnen eenvoudig worden aangestuurd door de robot (of zelfs omgekeerd).

3.3.2 Digitale stroombronnen

In een analoge stroombron wordt altijd een analoge procescontroller toegepast. Een van de belangrijkste redenen waarom procescontrollers worden gebruikt in stroombronnen, is de grote rekenkracht die nodig is om de gegenereerde data snel genoeg te kunnen meten en verwerken. De grote omslag kwam eind negentiger jaren door de komst van Digitale Signaal Processoren; de zogenaamde DSP's [4],[5],[13]. DSP's hebben het mogelijk gemaakt om stroombronnen volledig digitaal te maken. Deze stap in de ontwikkeling kan worden vergeleken met het omschakelen van de vinyl grammofoonplaat naar de CD. Door het gebruik van digitale stroombronnen komen de eigenschappen van de boog als het ware softwarematig beschikbaar en kan er diep in het lasproces worden ingegrepen. Hierdoor kunnen ook de laseigenschappen van de stroombron en/of het lasproces gestuurd en dus beïnvloed worden. Stroombronnen krijgen hierdoor een grote flexibiliteit, omdat de signalen nu op vele manieren kunnen worden bewerkt en gestuurd; in sommige gevallen zelfs momentaan (real-time). Dit is bij digitale stroombronnen allemaal veel eenvoudiger te realiseren dan bij de inflexibele, moeilijk aan te passen hardware die onderdeel uitmaakt van stroombronnen met analoge signaalprocessors. Digitale stroombronnen lijken de toekomst te hebben, waardoor op termijn de procesbeheersing bij het lassen steeds beter zal worden. Naarmate de rekenkracht van computers toeneemt (Wet van Moore) zal de lastechniek hier ook baat bij hebben. Het ultieme doel is hierbij te komen tot een volledige procesbeheersing. Utopie? Misschien, maar wie had 20 jaar geleden verwacht dat de mens niet meer van schakelcomputers zou kunnen winnen?

De digitale techniek opent dus ongekende mogelijkheden om het lasproces softwarematig te sturen en te beïnvloeden. Tevens is de reproduceerbaarheid van de lasparameters en dus het (las)resultaat sterk verbeterd. Het ont-

gelen van de lasparameters bij analoge apparatuur tengevolge van bijvoorbeeld de inwendige temperatuurstijgingen van de stroombron, behoort tot het verleden.

Een bijkomend voordeel, uit oogpunt van betrouwbaarheid en onderhoud, is dat een volledige digitale stroombron veel minder elektronische onderdelen bevat dan een traditionele analoge stroombron.

In figuur 3.13 is een moderne digitale stroombron weergegeven. Digitale stroombronnen zijn verkrijgbaar als chopper en als inverter. Tegenwoordig leveren vrijwel alle gerenommeerde fabrikanten digitale stroombronnen.



figuur 3.13 Voorbeeld van een digitale stroombron (inverter type, Fronius)

Figuur 3.14 geeft een schematisch overzicht van de verschillende typen stroombronnen en de manier waarop de stroom of spanning wordt geregeld. Het is de verwachting dat op termijn de digitale stroombron steeds meer aan belang zal winnen.

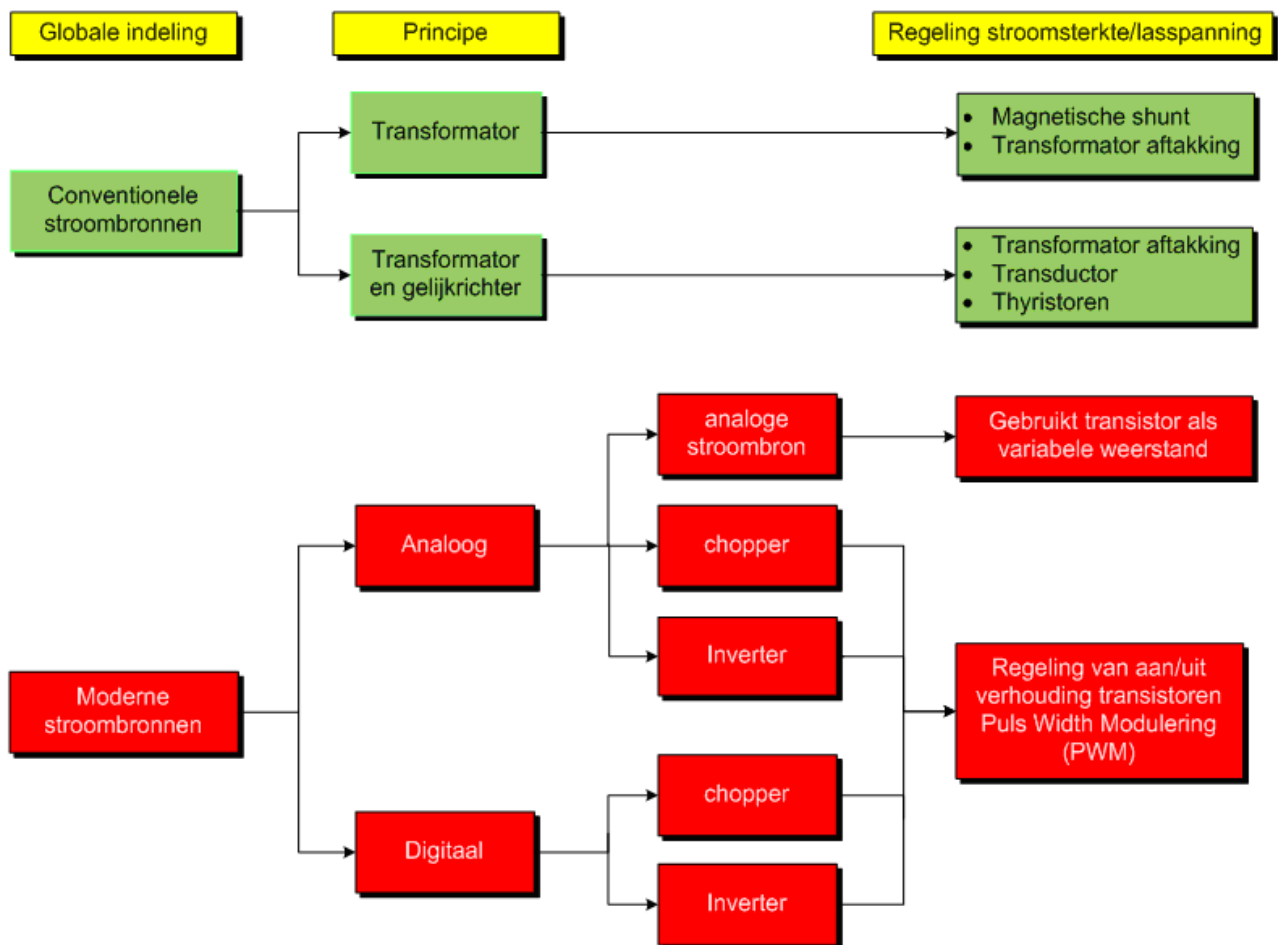
4 Enkele aspecten die te maken hebben met stroombronnen

Hierna zullen, in alfabetische volgorde, een aantal aspecten worden behandeld, waarmee de gebruiker wordt geconfronteerd als het gaat om stroombronnen voor het lassen. Achtereenvolgens zal aandacht worden geschonken aan de volgende onderwerpen:

- ▶ de procentuele inschakelduur PID of inschakelduur ID;
- ▶ de kenplaat;
- ▶ de arbeidsfactor of $\cos \varphi$ (phi);
- ▶ de beschermingsgraad/veiligheidsklasse/beschermingsklasse (IEC 529);
- ▶ de open spanning;
- ▶ CE-markering en de handleiding voor de stroombronnen.

Procentuele inschakelduur PID of inschakelduur ID

Een belangrijk gegeven van een stroombron is de procentuele inschakelduur (PID) of, meestal meer gebruikt: de inschakelduur (ID). De inschakelduur zegt iets over de kwaliteit van de stroombron en vooral over de kwaliteit van de transformator (wikkelingen). De inschakelduur is gebaseerd op de maximaal toelaatbare inwendige temperatuurstijging van de stroombron en is daarmee dus gerelateerd aan de kwaliteit van de stroombron, maar staat bijvoorbeeld los van de 'laseigenschappen' van een stroombron. De inschakelduur van een stroombron zegt iets over de procentuele tijd dat een stroombron mag worden ge-



figuur 3.14 Schematisch overzicht van de verschillende typen stroombronnen en de manier waarop de stroom of spanning geregeld wordt

bruikt bij een gegeven, maximale stroomsterkte. Inschakelduur (ID) en maximale stroomsterkte (A) horen dus altijd bij elkaar!

In de Europese norm EN 60974 1 is opgenomen dat de inschakelduur van een stroombron wordt gemeten over een tijdperiode van 10 minuten. De inschakelduur van een stroombron kan worden berekend met de volgende simpele formule:

$$ID = \frac{\text{lasperiode}}{\text{totalearbeidsperiode}} \times 100\%$$

Stroombronnen voor lasprocessen die met de hand of semi automatisch worden uitgevoerd, hebben meestal een maximale inschakelduur van 60%. Dit is logisch, omdat een handlasser nooit deze inschakelduur zal bereiken. Voor het gemechaniseerd of geautomatiseerd lassen worden altijd stroombronnen gebruikt met een inschakelduur van 100%.

Het omrekenen van de inschakelduur met bijbehorende stroomsterkten naar een andere waarde kan met de volgende formule: $ID_1 \times I_1^2 = ID_2 \times I_2^2$

Voorbeeld: als de inschakelduur van een stroombron 60% is (ID_1), bij een maximale stroomsterkte van 400A (I_1) dan is de maximaal toelaatbare stroomsterkte volgens bovenstaande formule bij 100% inschakelduur (ID_2) circa 310 A (I_2).

Kenplaat

Voor stroombronnen is binnen Nederland de volgende Europese norm van belang: NEN-EN 60974 1:2005 - Uitrusting voor het booglassen - Deel 1: Lastoestellen [9]. In deze norm is opgenomen dat stroombronnen voorzien moeten zijn van een zogenaamde kenplaat. Op deze kenplaat staan de belangrijkste gegevens en bijzonderheden van de stroombron. De kenplaat van de stroombron kan worden vergeleken met een typeplaat. In figuur 3.15 is een kenplaat weergegeven van een stroombron voor het MIG/MAG lassen (lasgelijkrichter). Alle, in Europa, verkochte stroombronnen moeten tegenwoordig voorzien zijn van het CE merk (zie onder CE markering).

Hierna worden een aantal begrippen behandeld die terug te vinden zijn op de kenplaat van de stroombron.

Arbeidsfactor of cosinus φ (phi)

De grote inductieve weerstand van een transformator zorgt voor een aanzienlijke faseverschuiving tussen spanning en stroom, wat resulteert in een lage arbeidsfactor of cosinus φ . Voor de meeste transformatoren geldt een cosinus φ van ca. 0,5 tot 0,6. Het gevolg hiervan is, dat het aansluitvermogen (schijnbare vermogen) aanzienlijk hoger is dan het (primaire) werkelijke vermogen (stel: $\cos \varphi = 0,5$, dan is het noodzakelijke aansluitvermogen $2 \times$ zo hoog).

Naam fabrikant					
Dubbelstroom				NEN EN 60974-1:2005	
Type		Nr.			
Laszijde			40A/15V	400/40V	
	ID		60%	100%	
	I_2		400A	310A	
U_2		40V	35V		
Voedingszijde					
3	50 Hz	U_1 230V	I_1 66A	I_1 48A	
U_1	V	U_1 400V	I_1 38A	I_1 28A	
U_1	V				
cos phi		0,95			
Condensatorvermogen		18kVA	Isolatieklasse		F
			Beschermingsgraad		IP 23

figuur 3.15 Voorbeeld van een kenplaat van een stroombron

De gebruiker betaalt op basis van het werkelijke vermogen. Bij een slechte cosinus φ moet het elektriciteitsbedrijf dus meer vermogen leveren dan waarvoor betaald wordt. Een slechte cosinus φ zorgt er ook voor dat de diameter van de kabels voor de primaire aansluitingen groter moet worden (duurdere kabels).

De cosinus φ kan door stroombronfabrikanten worden verbeterd door het nemen van compenserende maatregelen in de stroombron (aangebren van bijvoorbeeld extra condensators). Moderne stroombronnen hebben meestal een cosinus φ die veel beter is dan 0,8 en kan soms wel meer dan 0,95 bedragen. De cosinus φ kan worden berekend met de volgende formule:

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{prim}}}{P_{\text{aansl}}}$$

waarin:

P_{prim} = primaire vermogen;
 P_{aansl} = aansluitvermogen.

Beschermingsgraad/veiligheidsklasse/Beschermingsklasse (NEN-EN-IEC 60529)

De beschermingsgraad van de stroombron wordt aangeduid met IP (Internal Protection) en zegt iets over de mogelijkheid tot het binnendringen van vreemde voorwerpen of stoffen in de stroombron. De verklaring voor de beschermingsgraad (IP) is opgenomen in de NEN 10529-2000 [16] en NEN-EN-IEC 60529 [17]. De codering IP wordt altijd gevolgd door twee cijfers. Het eerste cijfer zegt iets over de mogelijkheid tot het kunnen binnendringen van vreemde voorwerpen in de stroombron. Bij de meeste stroombronnen voor het lassen is dit een 2, wat wil zeggen dat voorwerpen groter dan 12 mm en langer dan 80 mm niet in de stroombron kunnen binnendringen. Het tweede cijfer zegt iets over de gebruiksomgeving (binnen/buiten) van de stroombron. De betekenis hiervan is de volgende:

- 1 = Stroombron geschikt voor het gebruik in overdekte ruimten.
- 2 = Stroombron geschikt voor het gebruik in niet-overdekte ruimten. Spatwaterdicht voor vallend water tot een maximale hoek van 15°.
- 3 = Stroombron geschikt voor het gebruik in niet-overdekte ruimten. Spatwaterdicht voor vallend water tot een maximale hoek van 60°.

Voorbeeld: een stroombron die alleen binnen gebruikt wordt krijgt de aanduiding IP 21, terwijl een stroombron die zowel binnen als buiten gebruikt mag worden de aanduiding IP 22 of IP 23 kan hebben.

Isolatieklasse

De isolatieklasse van een stroombron zegt iets over de maximale temperatuurstijging van de elektronische componenten van de stroombron en is hiermee dus direct gerelateerd aan de inschakelduur en kwaliteit. Tabel 3.3 geeft een overzicht van de diverse isolatieklassen voor stroombronnen[9].

tabel 3.3 Isolatieklassen voor stroombronnen. De isolatieklassen F en H worden voor stroombronnen het meest gebruikt [9]

isolatieklasse	maximaal toelaatbare temperatuur van de wikkelingen (NEN-EN-IEC 60974-1:2005)
105 (A)	140
120 (E)	155
130 (B)	165
155 (F)	190
180 (H)	220
200	235
220 (C)	250

Soms wordt in de handleiding de gebruiksklasse 'S' vermeld (S staat voor safety). Dit betekent dat de stroombron zodanig is geconstrueerd, dat deze in een omgeving waar een verhoogd risico bestaat voor het krijgen van een elektrische schok (bijvoorbeeld vochtige ruimten), veilig is toe te passen.

Dit type stroombronnen was vroeger gemarkeerd met een K en nu dus met de letter S; deze is meestal door een afzonderlijk gele sticker op de stroombron aangebracht.

Open spanning

De open spanning van een stroombron wordt gemeten op de klemmen van de stroombron als er niet wordt gelast. De open spanning is de maximale spanning die de stroombron kan leveren aan de secundaire zijde (laszijde). De open spanning is onder andere van invloed op het startgedrag bij onder andere het booglassen met beklede elektrode. De maximale open spanning is gelimiteerd uit oogpunt van de veiligheid voor de lasser. De veilige waarde ten aanzien van de spanning is afhankelijk of er met gelijkstroom of wisselstroom wordt gelast en de omgevingscondities zoals wordt weergegeven in tabel 3.4 (NEN-EN 60974-1:2005).

tabel 3.4 Toegestane 'open spanningen' van stroombronnen volgens de NEN-EN 60974-1:2005

omgevingscondities	gelijkstroom (DC)	wisselstroom (AC)
omgeving met verhoogd risico (bijv. vochtige ruimtes)	113 V, piekvoltagage	68 V, piekvoltagage en 48 V gemiddeld
omgeving zonder verhoogd risico	113 V, piekvoltagage	113 V, piekvoltagage en 80 V gemiddeld
gemechaniseerd lassen met een verhoogde bescherming voor de operator	141 V, piekvoltagage	141 V, piekvoltagage en 100 V gemiddeld

Uit tabel 3.4 blijkt dat onder meest ongunstige condities een stroombron altijd een open spanning mag hebben van 113 Volt en bij wisselstroom 48 Volt.

Als er door de lasser onder ongunstige omstandigheden moet worden gewerkt (vochtige omgeving) en de open spanningen zijn hoger dan toegelaten (tabel 3.4), dan moet de lasapparatuur zijn voorzien van veiligheidsvoorzieningen om de open spanning op het moment dat er niet gelast wordt naar een veilige waarde te verlagen. Dit gebeurt door middel van een zogenaamd spanningsverlagingsrelais of wordt elektronisch geregeld. Afhankelijk van de ingestelde stroomsterkte is het noodzakelijk dat de stroombron enerzijds een open spanning kan leveren waarmee de boog ontstoken kan worden en anderzijds een lasspanning waarmee een stabiele boog in stand kan worden gehouden. Alle leveranciers geven dan ook de open spanning voor zowel de minimale als maximale stroomsterkte op de kenplaat aan. Richtwaarden voor de lasspanning bij de verschillende processen worden in tabel 3.5 weergegeven.

tabel 3.5 Richtwaarden voor het bereik van de lasspanning en open spanning van stroombronnen voor de verschillende lasprocessen

lasproces	bereik lasspanning	bereik open spanning
Bmbe	20 - 50 V	60 - 90 V
TIG-lassen	10 - 30 V	60 - 100 V
plasmalassen	10 - 40 V	80 - 120 V
MIG/MAG lassen	15 - 50 V	40 - 70 V
onder poeder lassen	25 - 50 V	40 - 60 V

Over het algemeen geldt dat naarmate de open spanning hoger is, de boog makkelijker ontsteekt.

In de norm is vastgelegd dat de maximale ongevaarlijke open spanning onder risicovolle omstandigheden (vochtige ruimten) bij het lassen met wisselstroom 50 Volt is en bij het lassen met gelijkstroom 120 Volt (beiden bij een rimpel = 0) [9]. Stroombronnen die hogere spanningen leveren, moeten, zoals eerder aangegeven, voorzien zijn van speciale voorzieningen om de open spanning als er niet wordt gelast (tijdelijk) te verlagen.

CE-markering en de handleiding voor de stroombronnen

CE-markering is een merkteken dat op stroombronnen aangebracht moet zijn conform de Europese Laagspanningsrichtlijn (73/23/EG, 93/68/EG) en de richtlijn voor elektromagnetische compatibiliteit (EMC-89-336-EEG). Met het CE merkteken geeft de fabrikant of de importeur (bij invoer van buiten de Europese Unie) aan, dat het product voldoet aan de essentiële vereisten op het gebied van veiligheid, gezondheid en milieu conform de betreffende richtlijnen. Een Europese richtlijn is niet vrijblijvend maar heeft de status van een Europese wet.

Vanuit de CE-richtlijnen is de fabrikant bijvoorbeeld verplicht om een handleiding op te stellen voor de gebruiker en hierin te wijzen op gevaarlijke situaties. Handleidingen zijn niet genormaliseerd, zodat de inhoudsopgave en de bijbehorende teksten nogal eens variëren. De handleiding moet voor Nederlandse gebruikers in het Nederlands zijn opgesteld. De CE-conformiteitsverklaring wordt eveneens bij voorkeur in het Nederlands opgesteld (in een conformiteitsverklaring verklaart de fabrikant dat de stroombron conform de EG richtlijnen is gemaakt). Het verdient aanbeveling bij de aanschaf van een stroombron van een minder bekend fabrikaat te controleren of in de CE-conformiteitsverklaring vermeldt staat dat de stroombron in overeenstemming is vervaardigd met de NEN-EN-IEC 60974-1:2005 conform de bepalingen in richtlijn (73/23/EEG). De norm zelf hoeft inhoudelijk niet te zijn opgenomen, maar moet wel genoemd staan. Een CE-markering houdt niet altijd in dat de stroombron voldoet aan de genoemde normen.

Alternatieven of eigen ontwerpen zijn ook mogelijk, maar dit moet wel in een aparte verklaring worden genoemd, waarbij de richtlijnen op een hoger niveau moeten staan dan de richtlijnen in de genoemde normen. Het kan voorkomen dat de CE-markering afwijkt van de norm of er bijna op lijkt. Deze stroombronnen voldoen niet aan de Europese Richtlijnen ten aanzien van veiligheid, enz. en mogen daarom niet in Europa verkocht en gebruikt worden.

5 Bijzondere mogelijkheden en voorzieningen in stroombronnen

De elektronica stelt fabrikanten in staat steeds meer regelingen en bijzonderheden in te bouwen in hun stroombronnen. Dit soort speciale voorzieningen worden vaak aangeduid met de meest exotische namen zoals Arc force, Accu puls, Adaptive Hot Start, Arc-Drive-Automatic Start at Idle, Auto-Refire, Auto Remote Sense, Auto stop en dan hebben we alleen nog maar de "A" gehad, terwijl er ongetwijfeld nog een aantal voorzieningen niet genoemd zijn. Soms verdwijnen dit soort voorzieningen weer even snel als ze zijn aangebracht, in andere gevallen zijn de voorzieningen zo nuttig, dat ze ook worden overgenomen door andere fabrikanten en tot de 'standaard' voorzieningen gaan behoren.

Het is niet mogelijk al deze speciale voorzieningen in het kader van deze publicatie te behandelen. Er is daarom een selectie gemaakt van enkele veel voorkomende voorzieningen die hun nut in de loop der jaren hebben bewezen.

Arc-force (Bmbe lassen)

Arc-force wordt ingebouwd door fabrikanten om ervoor te zorgen dat tijdens het lassen de elektrode niet vastvriest in het smeltbad (kortsluiting). Fabrikanten hebben dit opgelost door de stroomsterkte/lasspanning (tijdelijk)

te verhogen wanneer er een kortsluiting dreigt te ontstaan tijdens het lassen. Hierdoor verloopt het starten van de boog soepeler en wordt een rustiger boog verkregen met een regelmatige materiaalovergang.

Soms wordt de instelling voor de Arc-force als pre-set (vast ingestelde) waarde opgenomen in de stroombron en kan de gebruiker er niets aan veranderen, in andere gevallen hebben fabrikanten ervoor gekozen de gebruiker de mogelijkheid te laten om de Arc-force zelf in te kunnen stellen. Het is een nuttige voorziening die lassers helpt een constantere kwaliteit van laswerk te leveren.

Force-Arc (MAG lassen)

Het Force-Arc lassen moet niet worden verward met Arc-force zoals hiervoor beschreven.

Bij het Force-Arc lassen wordt gewerkt met een sproei-boog gekoppeld aan een lage boogspanning, hetgeen resulteert in een zeer korte booglengte tijdens het lassen.

Er wordt een materiaaloverdracht van fijne tot middel-grote druppels verkregen, waarbij de druppels elkaar snel opvolgen. De meningen zijn er over verdeeld of dit ook gevolgen heeft voor de inbranding, hiervoor is verder onderzoek noodzakelijk. Bij een dergelijke materiaaloverdracht is het natuurlijk niet te vermijden dat er af en toe kortsluitingen optreden die, als de stroombron hiervoor niet zou corrigeren, tot een niet-stabiele lasboog zou leiden. Tijdens dergelijke kortsluitingen wordt de spanning (elektronisch) verlaagd en neemt de stroomsterkte hierna weer snel toe. Bij de zogenaamde 'geforceerde' sproei-boog die hierbij ontstaat wordt een excessieve toename van de energie (stroom \times spanning \times tijd) door de elektronische regeling verhinderd. Deze sterke toename van energie zou anders, in het gebruikte vermogensbereik, tot een instabiele sproei-boog leiden. Bij de conventionele stroombronnen is het niet mogelijk om in een heel kort tijdsbestek de stroom te laten dalen of te laten stijgen. Met de nieuwe (snelle) digitale stroombronnen is dit wel mogelijk. Het Force-arc lassen is geschikt voor het lassen van plaatdikten vanaf circa 5 mm.

Anti stick (Bmbe lassen)

Bij moeilijk (ver)lasbare materialen kan het voorkomen dat de elektrode vastvriest aan het werkstuk. Hierdoor loopt er hoge kortsluitstroom door de elektrode en wordt de kerndraad roodgloeiend opgewarmd. Hierdoor is de elektrode niet meer bruikbaar en moet hij vaak uit het lasbad gewrikt of geslepen worden. Een anti-stick regeling zorgt ervoor dat in zeer korte tijd door de stroombron herkend wordt dat de elektrode vast dreigt te vriezen, waarna onmiddellijk de stroom naar een laag niveau of volledig uit geschakeld wordt. Hierdoor wordt voorkomen dat de elektrode vastvriest en de kerndraad van de elektrode opwarmt. Bovendien wordt de stroombron minder belast.

Hot-start (Bmbe en pulserend MIG/MAG lassen)

De hot-start voorziening is een voorziening die ervoor zorgt dat er in zeer korte tijd een stabiele boog ontstaat door een extra verhoging van de stroomsterkte/lasspanning. Deze voorziening bewijst vooral zijn diensten bij het Bmbe lassen, met elektroden (met een hoge open spanning) die moeilijk starten. Een hot-start inrichting is ook nuttig bij het eenzijdig lassen op keramische steentjes, waardoor het optreden van lasfouten tijdens het starten voorkomen kunnen worden.

De hot-start functie is soms ook beschikbaar bij het pulserend MIG/MAG lassen. Fabrikanten hebben dit op verschillende manieren opgelost, waarbij de meest gebruikte oplossing is om bij het pulserend MIG/MAG lassen de tijd tussen 2 stroompieken tijdens het starten te verkleinen, waardoor gedurende de eerste seconden de gemiddelde stroomsterkte hoger ligt dan de ingestelde stroomsterkte.

Lift-arc, touch-start, scratch start , contactontsteking (TIG lassen)

Lift-arc is een elektronische voorziening in de stroombron die bij het TIG-lassen wordt gebruikt en waardoor het mogelijk is zonder hoogfrequente spanning of een hoogspanningspuls de lasboog te ontsteken. Deze voorziening wordt vooral gebruikt voor het lassen op plaatsen waar hoogfrequentspanning ongewenst is. De lift-arc regeling detecteert als er een kortsluiting tussen elektrode en werkstuk ontstaat. De elektronische regeling zorgt er dan voor dat er dan geen hoge kortsluitstroom gaat lopen maar een lage stroomsterkte, die juist voldoende is om de boog te kunnen ontsteken. In tegenstelling tot conventionele TIG-apparatuur kan op deze manier, door contact te maken tussen werkstuk en elektrode, de TIG-boog zonder problemen worden ontstoken. Veel moderne TIG-stroombronnen hebben tegenwoordig de mogelijkheid om voor het starten te kiezen uit meerdere startmethoden, waaronder de lift-arc methode, door middel van een hoogfrequente spanning of een hoogspanningspuls.

Synergische regeling (Pulserend MIG/MAG lassen)

Synergische regelingen worden door fabrikanten van MIG/MAG apparatuur aangebracht om het instellen van de lasapparatuur eenvoudiger te maken. Onderzoek heeft uitgewezen dat bij het pulserend MIG/MAG lassen de meest stabiele situatie wordt verkregen als er één materiaaldruppel per puls wordt afgesmolten.

Het is voor een lasser erg moeilijk om dit in de praktijk te realiseren. Hiervoor moeten immers de lassnelheid, draadsnelheid en de pulsparameters (pulsstroom, en pulsstroomtijd, basisstroom en basisstroomtijd) voor elke combinatie van lasdraad (diameter en chemische samenstelling) en beschermgas, optimaal op elkaar worden afgestemd. Fabrikanten zijn hierin de lasser tegemoet gekomen door de stroombron te voorzien van een aantal eenvoudige en herkenbare voorselecties. De meest gangbare voorselecties betreffen: het type lasdraad of basismateriaal, de lasdraaddiameter en het soort beschermgas. Door middel van deze voorselecties kiest de stroombron zijn optimale instellingen steeds zodanig dat er één metaaldruppel per puls wordt afgesmolten. Puls MIG/MAG apparatuur gebaseerd op dit principe wordt ook wel synergische MIG/MAG apparatuur genoemd.

Bij dergelijke apparatuur is de puls frequentie (= gemiddelde stroomsterkte) gekoppeld aan de draadsnelheid, waardoor er voor de lasser een herkenbare situatie is ontstaan. Immers ook bij het traditionele MIG/MAG lassen verhoogt of verlaagt de lasser zijn stroomsterkte door zijn draadsnelheid te variëren.

Fabrikanten gaan er steeds meer toe over om in hun stroombronnen synergische relaties tussen (las)parameters aan te brengen, waardoor het instellen van de stroombronnen eenvoudiger wordt. Bij veel stroombronnen is er de mogelijkheid de voorgeprogrammeerde synergische relaties uit te schakelen, wat bij bijvoorbeeld nuttig is, als er bijzondere materialen moeten worden gelast, waarvoor geen (voorgeprogrammeerde) synergische relaties beschikbaar zijn.

Dubbel Puls lassen (MIG/MAG lassen)

Sommige fabrikanten hebben in hun stroombronnen voorzieningen ingebouwd, waarmee het mogelijk is om te lassen met een zogenaamde "dubbele puls". Fabrikanten hebben hier verschillende oplossingsrichtingen gekozen, zoals bijvoorbeeld de Dubbel Puls die zorgt voor een pulserende toevoer van de lasstroom én de lasdraad. Met deze variant van het pulserend MIG/MAG lassen kan men voor elke draad/gas combinatie een ideale lasinstelling vinden vanaf het kortsluitbooggebied tot en met het open booggebied. Hierdoor wordt het toepassingsgebied van het MIG/MAG lassen vergroot, omdat (bij een optimale inbranding) de warmte-inbreng tot een minimum beperkt blijft en het smeltbad goed beheersbaar blijft. Een andere oplossing voor het Dubbel Pulslassen is een puls met een

gemiddeld hoge stroomsterkte, gevolgd door één of meerdere pulsen met een gemiddeld lagere stroomsterkte. Om te voorkomen dat het lasbad gaat voorlopen op de boog, vanwege de dunvloeibaarheid van het materiaal, wordt een tweede puls gebruikt bij gemiddeld lagere stroomsterkte, zodat dit voorlopen wordt voorkomen.

Vooraf voor het lassen van dun aluminium en titaan of bij het in positie lassen, biedt het Dubbel Puls lassen voordelen. Bij het Dubbel Puls lassen wordt het uiterlijk van een TIG-las verkregen, bij de lassnelheid van het MIG/MAG lassen. Producten die momenteel met het TIG-proces worden gelast, kunnen veelal ook met Dubbel Puls MIG/MAG worden gelast, waardoor de productiviteit aanzienlijk toeneemt. Verschillende producenten van stroombronnen hebben hun eigen varianten hierop ontwikkeld: Spray modal, Aristo Superpuls, Variable Pulse Mig Welding (VPMW), DIP-pulse enz.

MAG Kortsluitbooglassen

Niet echt nieuw zult u terecht zeggen. Nieuwe ontwikkelingen, ingegeven door de mogelijkheden die de elektronica biedt, hebben er echter voor gezorgd dat er vooral ten aanzien van het MIG/MAG kortsluitbooglassen veel nieuwe mogelijkheden zijn bijgekomen. Het is tegenwoordig uitstekend mogelijk dunne materialen met een zeer lage warmte-inbreng te lassen of gebruik te maken van het zogenaamde boogsolderen, waarbij een soldeer als lasdraad wordt gebruikt.

Hierna wordt kort een aantal varianten van het MIG/MAG kortsluitbooglassen besproken, deze processen zijn in de markt meestal bekend onder hun handelsnaam; deze zullen hierna voor de herkenbaarheid van de processen dan ook worden aangehouden. Een uitgebreidere beschrijving van een aantal van deze processen is te vinden in [2][3].

Enkele MIG/MAG kortsluitboog varianten:

► Surface Tension Transfer (STT) proces

De nieuwe ontwikkelingen op het gebied van het verbeteren van het MAG kortsluitbooglassen zijn begonnen met de introductie van het STT-lassen. Het STT lassen is een gasbooglasprocesvariant, die gebruik maakt van een speciale meet- en regeleenheid in de stroombron (arc wave form control) om de oppervlaktespanning en het stroomverloop tijdens het kortsluitbooglassen te controleren. Het STT lassen maakt gebruik van een (inverter) stroombron die niet werkt met een verticale karakteristiek (constante stroom) of horizontale karakteristiek (constante spanning), maar waarvan het werkpunt elektronisch ingesteld en gestuurd kan worden. Hierdoor kan de warmte-inbreng onafhankelijk van de draadsnelheid worden geregeld.

De grondgedachte van het STT-proces berust op het feit dat er, tijdens het afsplitsen van de druppel, een aantal krachten werken op de zich vormende metaaldruppel. Enerzijds zijn dit de elektromagnetische Lorentzkrachten en anderzijds de oppervlaktespanning en de zwaartekracht en ook de krachten als gevolg van de plasmastromingen. Bij het afsplitsen van de druppel neemt het oppervlak van de druppel toe en daarmee ook de oppervlakte-energie. De oppervlaktespanning van de druppel is daardoor één van de belangrijkste tegenwerkende krachten bij de druppelafplitsing.

De oppervlaktespanning is in eerste instantie afhankelijk van de temperatuur van de zich vormende druppel. Door nu de stroom gecontroleerd op te voeren, wordt de oppervlaktespanning verlaagd, want de oppervlaktespanning neemt af met toenemende temperatuur. Hierdoor verloopt de druppelafplitsing gemakkelijker. De stroomsterkte wordt dus gestuurd en daarmee wordt de oppervlaktespanning beïnvloedt. De oppervlaktespanning wordt niet direct, maar indirect geregeld. Door het op deze speciale manier regelen van de stroom in combinatie met een gecontroleerde (kortsluit)stroomsterkte vindt de druppelafplitsing optimaal plaats. Hierdoor wordt een vrijwel spatvrije overgang van de metaaldruppels verkregen. Na het STT proces volgden andere

varianten; alle met het doel het beperken van het spatgedrag tijdens het kortsluitbooglassen en het verlagen van de warmte-inbreng.

► Cold Metal Transfer (CMT) proces

Het Cold Metal Transfer (CMT) en het ColdArc-proces zijn naast het STT-proces andere bekende nieuwe varianten van het gecontroleerd MAG kortsluitbooglassen. Bij het CMT lassen is het proces zo geregeld, dat tijdens de materiaaloverdracht van draad naar lasbad de stroom bijna gelijk aan nul wordt. Door tegelijkertijd de lasdraad iets terug te trekken, vindt de materiaaloverdracht zonder spatten plaats. De boog zal als gevolg van de opgelopen temperatuur en het verhogen van de spanning automatisch opnieuw ontsteken. Nadat de materiaaloverdracht heeft plaatsgevonden wordt de stroom weer verhoogd. Het bijzondere aan het CMT-proces is dus de koppeling van de stroom aan de draadaanvoer. Door de draad terug te trekken wordt slechts een geringe hoeveelheid materiaal naar het lasbad getransporteerd, een eigenschap die dit lasproces uitermate geschikt maakt voor het lassen van materialen met geringe dikte en zelfs voor het lassen van aluminium aan staal [3]. Het CMT lassen verloopt zonder spatten, omdat de stroomsterkte tijdens de overdracht van het materiaal laag is. Met het CMT proces kunnen met een geringe warmte-inbreng zeer dunne materialen (vanaf 0,3 mm) worden gelast.

► ColdArc proces

Bij het ColdArc-proces wordt het stroomverloop gemodificeerd door gebruik te maken van een nieuw type hoog-dynamische invertorschakeling, gecombineerd met een snelle, digitale procescontrole. Bij het ColdArc-proces wordt de lasdraad niet teruggetrokken om materiaaloverdracht te laten plaatsvinden, maar wordt uiteindelijk vrijwel hetzelfde effect bereikt. Met het ColdArc proces kunnen evenals met het CMT lassen met een geringe warmte-inbreng zeer dunne materialen (vanaf 0,3 mm) worden gelast van tot dusverre 'onmogelijke' (voor het booglassen) combinaties van staal en aluminium, of magnesium en aluminium. Soms zijn hier wel aangepaste toevoegmaterialen voor noodzakelijk.

Tegenwoordig kunnen vrijwel alle fabrikanten van MIG/MAG apparatuur voorzieningen aanbrengen in hun stroombronnen om vrijwel spatloos te kunnen lassen.

Boogsolderen

Bij het boogsolderen wordt een soldeerdraad gebruikt als toevoegmateriaal. De soldeerdraad smelt af bij een relatief lage temperatuur, terwijl de te verbinden materialen niet smelten. Hierdoor wordt er weinig warmte in de te verbinden delen gebracht en is het proces zeer geschikt voor het verbinden van dunne plaat. Een andere mogelijkheid van het boogsolderen is het verbinden van verzinkte platen, zonder noemenswaardige aantasting van de zinklaag. Het boogsolderen lijkt misschien niet in deze publicatie thuis te horen, omdat het ogenschijnlijk niets te maken heeft met stroombronnen of speciale voorzieningen in stroombronnen. Dit is echter niet juist. In de praktijk is gebleken dat bij het MIG/MAG boogsolderen de stroombron van grote invloed is op de kwaliteit die bereikt kan worden met dit proces.

Moderne stroombronnen kunnen van speciale programma's voor het boogsolderen worden voorzien, waarmee het mogelijk is een optimale kwaliteit van de verbinding te realiseren. Het boogsolderen kan in principe ook met traditionele MIG/MAG apparatuur worden uitgevoerd, de beste resultaten worden echter bereikt als er gebruik wordt gemaakt van stroombronnen waarin speciale programma's zijn opgenomen voor het boogsolderen. Het zal duidelijk zijn dat dit niet geldt voor lasprocessen waarbij het soldeertoevoegmateriaal niet spanningsvoerend is (TIG, Plasma, Laser).

6 *Levensduur en onderhoud van moderne stroombronnen*

Naast de gebruiksomgeving en -omstandigheden geldt, dat zowel voor de inverter als voor de chopper de levensduur van de stroombron voor een groot deel wordt bepaald door de kwaliteit van de elektronische componenten.

Gerenommeerde stroombronfabrikanten stellen strenge specificaties op voor de door hen gebruikte elektronische componenten, om daarmee de kwaliteit van hun stroombronnen te kunnen garanderen. De hoge kwaliteit van de elektronische componenten heeft uiteraard invloed op de prijs van de stroombron. Het voordeel voor de gebruiker is echter, dat op deze manier de betrouwbaarheid van de apparatuur aanzienlijk wordt vergroot.

De technische levensduur van een inverter en chopper bedraagt, afhankelijk van de omstandigheden waaronder de apparatuur wordt ingezet, globaal 7 tot 20 jaar. Dit is ruim voldoende, omdat de ontwikkelingen zo snel gaan, dat het vaak verstandig is op kortere termijn de stroombron te vervangen door nieuwe, meer efficiënte stroombronnen. In de meeste gevallen worden stroombronnen economisch afgeschreven over een periode van circa 3 jaar. De ervaring leert dat moderne stroombronnen ondanks de grote hoeveelheid elektronica die hierin verwerkt zit, betrouwbaar zijn met relatief lage onderhoudskosten.

Voor industriële installaties bestaat de eis dat zij een inspectietermijn hebben waarover de norm NEN 3140: "Bedrijfsvoering van elektrische installaties - Aanvullende Nederlandse bepalingen voor laagspanningsinstallaties", uitsluitel geeft. Inspecties moeten plaatsvinden door een deskundig installatiebureau, of door een aangewezen (laagspannings)deskundige binnen het bedrijf. Meer zekerheid wordt verkregen, wanneer de inspectie wordt uitgevoerd door een geaccrediteerde inspectie-instelling. De NEN 3140 stelt eveneens, dat de gebruiker (lasser) verplicht is zelf een aantal controles uit te voeren, voordat hij het lasapparaat inschakelt.

Het betreft de volgende punten:

- ▶ visuele inspectie van het apparaat en vooral de conditie van de isolatie van de leidingen;
- ▶ het lasapparaat mag pas worden ingeschakeld als alle verbindingen zijn gemaakt (werkstuklabel, afstandsbediening, enz.);
- ▶ bij niet gebruik moet het apparaat worden uitgeschakeld;
- ▶ bij het gebruik in nauwe en besloten ruimten moet de stroombron buiten deze ruimte worden geplaatst en mag de open spanning niet hoger zijn dan 50 V wisselstroom;
- ▶ bij onderhoud en reparatie moet het apparaat worden gescheiden van het net;
- ▶ bij de visuele controle moet vooral worden gelet op:
 - beschadiging van de netvoedingskabel;
 - de aansluiting van de netvoedingkabel en de trek-ontlasting;
 - o of slijtage of breuk is opgetreden, of dat de behuizing zodanig is beschadigd, dat de veiligheid in het gedrang komt;
 - o of de schakelaars nog intact zijn;
 - o of het apparaat nog schoon en droog is.

7 *Wat kunnen we nog verwachten op het gebied van stroombronnen in de komende jaren?*

De trend ten aanzien van de ontwikkelingen van stroombronnen is lichter, kleiner, sneller, betrouwbaarder, meer flexibiliteit en meer mogelijkheden. Het kleiner en lichter worden van de stroombronnen speelt vooral een belangrijke rol bij het gebruik door onderhoudspersoneel. Voor veel bedrijven wordt echter een steeds belangrijker aspect dat er een voorspelbare en reproduceerbare kwaliteit van het laswerk wordt verkregen. Bedrijven zijn geïnteresseerd in apparatuur die hen in staat stelt zo reproduceerbaar

mogelijk te werken. Een las die vandaag wordt gelegd, moet over een jaar met precies dezelfde kwaliteit kunnen worden gemaakt (bij gelijke instellingen van de parameters uiteraard). Goede stroombronnen zijn mede de basis voor de reproduceerbaarheid van het laswerk. Er is dan ook een hele duidelijke trend zichtbaar ten aanzien van de ontwikkelingen van stroombronnen (en hun ingebouwde regelingen) in de richting van een maximale beheersbaarheid van het lasproces. Dit zal er uiteindelijk toe leiden dat de kwaliteit van het laswerk steeds minder mensafhankelijk wordt. Hoewel de laskosten in Europa vrijwel altijd worden gedomineerd door de loonkosten, lijken de gebruikskosten toch aan belang te winnen. Hierbij is de aandacht vooral gericht op de ontwikkeling van meer energie efficiënte lasapparatuur, waarbij te denken valt aan stroombronnen met 'stand-by' voorzieningen van energievragende onderdelen (bijvoorbeeld koelpomp en ventilator) of ten aanzien van de hele stroombron [8].

Een andere ontwikkeling betreft de behoefte van gebruikers om lasparameters te registreren, te bewaken en op te slaan. Stroombronnen zullen in de toekomst steeds meer worden voorzien van data-acquisitie en parameterregistratie mogelijkheden.

Stroombronnen worden ook steeds meer aan robots gekoppeld. Nu gebruikt elke leverancier hier zijn eigen interface(s) voor. De verwachting is dat de ontwikkeling van 'universele interfaces' ertoe bij zal dragen, dat de uitwisselbaarheid en dus de inzetbaarheid van stroombronnen wordt vergroot. De markt (gebruikers) zullen dit echter moeten afdwingen.

Een andere trend die zichtbaar is, betreft het feit dat bedrijven producten met een hoge kwaliteit willen vervaardigen met steeds lager geschoold personeel. De complexiteit van de stroombronnen neemt hierbij steeds meer toe, zodat de eis is, dat deze ingewikkelde apparatuur eenvoudig te bedienen en in te stellen moet zijn. Dit is de aanzet voor het ontwikkelen van stroombronnen met een zo groot mogelijke gebruikersvriendelijkheid.

Hoewel er al veel gebeurd is op het gebied van de gebruikersvriendelijkheid van stroombronnen, zullen de ontwikkelingen naar eenvoudig in te stellen stroombronnen, waarbij de apparatuur zelf een groot aantal functies en instellingen overneemt van de gebruiker, door blijven gaan. De behoefte hiernaar zal ook groeien, naarmate de beschikbaarheid van vakmensen problematischer wordt.

De wens naar een optimale gebruikersvriendelijkheid in combinatie met een afnemende beschikbaarheid van vakmensen is in Japan bijvoorbeeld de voornaamste reden geweest Fuzzy-logic (zie kader 7.1) in stroombronnen in te bouwen [8][11].

De voortschrijdende (computer)technologie zal ervoor zorgen dat er steeds snellere stroombronnen en (robot)besturingen op de markt komen (32, 64 en 128 bits). Hierbij zal het mogelijk worden op hoge snelheid informatie uit te wisselen tussen de stroombron, de boog, sensoren en eventueel andere periferie. Hierdoor zal de wens tot het mens-onafhankelijk lassen steeds dichterbij komen.

Communicatie

Communicatie tussen stroombronnen en periferie zal plaatsvinden via bijvoorbeeld ethernet, waardoor de interfacing tussen de hardware en software eenvoudiger wordt. Hierdoor zal de snelheid van de systemen (stroombronnen), robotbesturingen, periferie) verder toenemen. Het gebruik van 32-, 64- en 128-bits en nieuwere snelle microprocessors zullen ervoor zorgen dat het intelligentieniveau van stroombronnen vergelijkbaar wordt met dat van moderne robots. Hierdoor kunnen stroombronnen robots aansturen in plaats van omgekeerd, zoals nu het geval is. Dit ontlast de besturing van de robot, waardoor ruimte vrijkomt voor andere taken. De verwachting is dat er nieuwe en goedkopere schakeltechnologieën zullen worden ontwikkeld, die qua prestaties vergelijkbaar zullen zijn met de huidige inverters, maar die qua prijsstelling op het niveau liggen

De grondlegger van de fuzzy logic is Prof. Lotfi A. Zadeh. Hij ontwikkelde deze logica om met onzekerheden die in natuurlijke taal voorkomen (bijvoorbeeld hoog, laag, groot, klein, kort lang) te kunnen omgaan. Fuzzy logic lijkt voor velen ver weg, maar is in feite heel dichtbij, in de meeste gevallen wordt echter door de gebruiker niet onderkend dat er fuzzy logic gebruikt wordt. Fuzzy logic wordt bijvoorbeeld al gebruikt in medische instrumenten, wasmachines, thermostaten, pompinstallaties, cv installaties, digitale camera's, televisies, personal computers, enz, enz.

Fuzzy logic valt uit te leggen aan de hand van een simpel voorbeeld. De omschrijvingen 'hoge stroomsterkte' en 'lage stroomsterkte' zijn relatieve begrippen. We kennen dus geen harde grenzen wanneer er gelast wordt met een 'hoge stroomsterkte' of 'lage stroomsterkte'. Neem bijvoorbeeld de constatering "De stroomsterkte bij het MIG/MAG lassen is hoog". Volgens de booleaanse logica zou dit waar (1) of onwaar (0) moeten zijn. Wanneer de stroomsterkte 40 ampère is, kan worden gesteld dat de uitspraak niet juist (onwaar) is en wanneer de stroomsterkte 500 ampère is, zal meestal niet bestreden worden dat de stroomsterkte hoog is, dus de uitspraak juist (waar) is. Maar wat te zeggen als de stroomsterkte 150 ampère is? De ene lasser zal dit hoog noemen, terwijl de andere lasser dit laag vindt, afhankelijk van de toepassing en omstandigheden. Met fuzzy logic kan dan bijvoorbeeld worden aangegeven dat de stroomsterkte enigszins hoog is, door te stellen dat de bewering voor 60% (0,6) waar is. Het zal duidelijk zijn, dat dit tal van nieuwe mogelijkheden schept om op deze manier apparaten elektronisch aan te sturen; immers elke denkbare situatie kan nu worden beschreven en in formules vastgelegd. Door dit principe in te bouwen in stroombronnen, zullen zeer geavanceerdere regelingen in de toekomst mogelijk worden. Fuzzy logic wordt al toegepast in MIG/MAG stroombronnen om de boogstabiliteit en de controle over het lasbad te verbeteren.

van de huidige conventionele stroombronnen. Het zal duidelijk zijn, dat al deze afzonderlijke onderdelen (stroombron, manipulator, robot, sensoren, periferie) snel en op de juiste wijze met elkaar moeten communiceren. Dit wordt mogelijk gemaakt door in stroombronnen gebruik te maken van een zogenaamde CAN-bus.

CAN-bus

Steeds grotere hoeveelheden data moeten worden verwerkt, niet alleen in de stroombron zelf maar ook tussen stroombronnen en randapparaten en dit alles in een omgeving (lassen) die van nature gevoelig is voor storingen. Nieuwe ontwikkelingen vinden plaats op het gebied van data-overdracht. Een veelbelovende ontwikkeling is het gebruik van CAN (CAN = Controller Area Network). De ontwikkelingen rond de CAN zijn geïnitieerd in de automobiëlindustrie. Het aantal communicatiewegen (in goed Nederlands: de kabelboom in de auto) moest enorm worden uitgebreid. In auto's in de hogere prijsklasse zit tegenwoordig ongeveer 2 kilometer draad met een totaal gewicht van ruim 100 kg. Voor de diverse modellen van een fabrikant moeten soms wel 600 verschillende kabelbomen worden gemaakt. Uit het oogpunt van kosten en baten is daarmee het einde van de traditionele bedradings-techniek (één draad met één functie) bereikt. De automobiëlindustrie begon naar nieuwe, moderne communicatiemethoden te zoeken en kwamen terecht bij de CAN-bus.

De CAN-bus is een zogenaamde 'netwerk' techniek. In plaats van voor iedere functie een eigen draad te gebruiken, heeft men de ontwikkeling gezocht in netwerken. Netwerken zorgen ervoor dat je via één verbinding (draad) verschillende informatie kunt transporteren. De verbinding is nu dus niet meer exclusief bestemd voor één functie, maar kan voor een scala aan dataoverdracht (functies) worden gebruikt. Elk onderdeel haalt uit de langskomende informatie datgene wat voor hem bestemd is (multiplexen). Deze techniek wordt ook steeds meer toegepast in de overige industrie. Een toepassing van deze techniek is het

ADSL modem, waarmee het tegenwoordig mogelijk is tegelijkertijd te internetten als te telefoneren. Stroombronnen voor het lassen en zeker systemen die in combinatie met robots en andere periferie worden gebruikt, kunnen tegenwoordig al worden voorzien van een CAN-bus. Naarmate de behoefte aan (snelle) informatieoverdracht groeit, zal de CAN-bus steeds meer de levensader gaan vormen van onze stroombronnen en de hierop aangesloten periferie.

8 Literatuur

- [1] Chopper of Inverter. Theo Luijendijk. Lastechniek september 2006. Blz. 20 t/m 23.
- [2] Recente ontwikkelingen op het gebied van het MIG/MAG lassen. Theo Luijendijk. Lastechniek september 2006. Blz 8 t/m 12.
- [3] New CMT arc welding process-welding of steel to aluminum dissimilar metals and welding of super-thin aluminium sheets. K. Furukawa. Welding International 2006 (6) page 440-445.
- [4] Full Digital Welding Power Source. Thomas Augustin. Lorch Schweisstechnik GmbH. Presentatie 2006.
- [5] Welding Power Sources go Digital. Chris Anderson. The Fabrikator. October 2004.
- [6] Power sources for arc welding Klas Weman. Svetsaren no 2, 2003. Blz 30 t/m32.
- [7] Improved power control makes inverters the power source of choice. H. Yamamoto, S. Harada, T. Ueyama. Welding Journal February. Blz 1997 47 t/m 49.
- [8] Inverter design saves energy. Welding design and Fabrication. June 2002
- [9] NEN-EN-IEC 60974 1:2005 - Uitrusting voor het booglassen - Deel 1: Lastoestellen.
- [10] Using Inverter based power supplies. Greg Metko. The Fabrikator, June 1998.
- [11] Automatic setting of arc voltage using fuzzy logic. T.Mita, H.Tanoue, T. Kashima, T. Shinada. Welding review International. November 1996.
- [12] Welding Handbook, Volume 2: Welding Processes. Eight Edition. Chapter 1: Arc welding power sources. Page 1 to 41.
- [13] Digitally controlled GMA power sources. Heinrich Hackl, Artikel van Fronius, Austria te vinden Op: http://www.fronius.com/cps/rde/xbcr/SID-5982C9D3-9EB67101/fronius_international/04_digital_geregel_te_msg_stromquellen_gb.pdf.
- [14] Exploiting Advances in Power Source To Enhance Arc Welding Processes. W. Lucas, TWI. British Library "The World Knowledge".
- [15] The Influence of power source type on welding performance and weld quality. John Nixon, Babatunde Ogunbiyi, Pil Castle-Smith. British Library "The World Knowledge".
- [16] NEN-EN-IEC 60529:1992/A1:2000. Beschermingsgraden van omhulsels (IP-codering).

Toelichting:

Deze voorlichtingspublicatie is opgesteld in opdracht van de Vereniging FME-CWM in het kader van het project 'Updates VM publicaties' en is een update van de praktijkaanbeveling PA.99.08 "Stroombronnen voor het booglassen" uit 1999. Hierbij waren de volgende organisaties betrokken: NIL, M2i en de Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC).

Auteur:

De auteur, A. (Ton) Gales (STODT), heeft de oorspronkelijke publicatie opgezet en tevens de update voor zijn rekening genomen. Hij is hierbij onder meer bijgestaan door Theo Luijendijk (TU Delft), Henk de Jong † (NIL), Henk Bodt (NIL) en Roger van den Brekel (NIL).
Eindredactie: Peter Boers (FME).

Technische informatie:

Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX Zoetermeer
Correspondentie-adres: Postbus 190,
2700 AD Zoetermeer
Telefoon: 088 - 400 85 60
Fax: 079 - 353 11 78
E-mail: info@nil.nl
Internet: www.nil.nl

Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijk-aanbevelingen en Tech-Info-bladen:

Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,
2713 HX Zoetermeer
Correspondentie-adres: Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41
Fax: (079) 353 13 65
E-mail: info@fme.nl
Internet: www.fme.nl

© Vereniging FME-CWM/december 2008 - 01

Niets uit deze uitgave mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
Afdeling Technologie en Innovatie
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon 079 - 353 11 00
telefax 079 - 353 13 65
e-mail: info@fme.nl
internet: www.fme.nl