

ZELF VOEDINGEN ONTWERPEN EN BOUWEN

TRANSFORMATOREN, GELIJKRICHTERS EN BUFFERCONDENSATOREN

H. J. C. OTTEN

In het volgende wordt een handleiding gegeven voor de keuze van transformatoren, gelijkrichters en buffercondensatoren. Tevens worden aanwijzingen gegeven om te onderzoeken wat de gebruiksmogelijkheden zijn van een transformator zonder gegevens.

De noodzaak van een transformator

Om van de beschikbare netwisselspanning van 220 V, 50 Hz, een gelijkspanning te maken, zou een transformator eigenlijk niet nodig zijn. Gelijkrichten zou al voldoende zijn om van de wisselspanning een (hoge) gelijkspanning te maken, en via een weerstandsdeler is de spanning te verlagen tot de gewenste waarde. Nadeel van deze methode is echter het grote vermogen dat in de weerstandsdelen moet worden gedissipeerd. Om bijvoorbeeld een wisselspanning van 20 V bij 1 A te verkrijgen, zou een vermogen van $200\text{ V} \times 1\text{ A} = 200\text{ W}$ in de weerstandsdelen moeten worden gedissipeerd! De moderne halfgeleider-technologie biedt hier wel een oplossing voor in de vorm van een thyristor- of triacvermogensregeling, waarbij het te dissiperen vermogen klein wordt gehouden. Er zijn dus wel alternatieven

voor de transformator, die bijvoorbeeld in televisies veel worden toegepast. Het grote nadeel van het niet gebruiken van de transformator is de directe koppeling die ontstaat tussen netspanning en de elektronische schakeling, waardoor het aanraken van laagspanningsleidingen levensgevaarlijk wordt. Het toepassen van een transformator heeft twee doeleinden, allereerst wordt een goede scheiding van het lichtnet verkregen en als tweede wordt een vermogensoverdracht mogelijk zonder veel verliezen.

De werking van een transformator

In de allereenvoudigste uitvoering voor voedingsschakelingen bestaat de transformator uit twee spoelen, op dezelfde kern gewikkeld. De primaire spoel of wikkeling zoals men vaak zegt wordt aangesloten op de netwisselspanning en wekt door inductie in de secundaire wikkeling een spanning op.

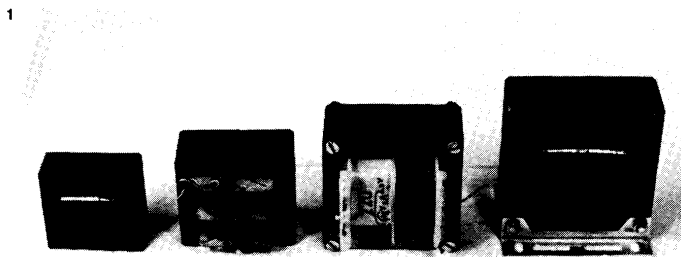
Dit is het eerste onderwerp uit een artikelenserie over het onderwerp voedingen. De serie bestaat uit losse artikelen, die wel in volgorde moeten worden gelezen. De nadruk ligt op de keuze van de juiste voedingswijze en de daaruit voortvloeiende componenten. Niet het bouwen van een gestabiliseerde voeding is het moeilijkste onderwerp bij het van spanning voorzien van een schakeling, maar het met overleg kiezen van de onderdelen, en de beste wijze van aansluiten van de voedingsspanningen.

De secundaire spanning wordt bepaald door de volgende formule:

$$\frac{V_{\text{secundair}}}{V_{\text{primair}}} = \frac{n_{\text{secundair}}}{n_{\text{primair}}}$$

waarin V_{primair} de netwisselspanning, $V_{\text{secundair}}$ de secundaire spanning, n_{primair} en $n_{\text{secundair}}$ respectievelijk het aantal wikkelingen primair en secundair zijn. De spanningstransformatie wordt dus bepaald door de wikkelverhoudingen.

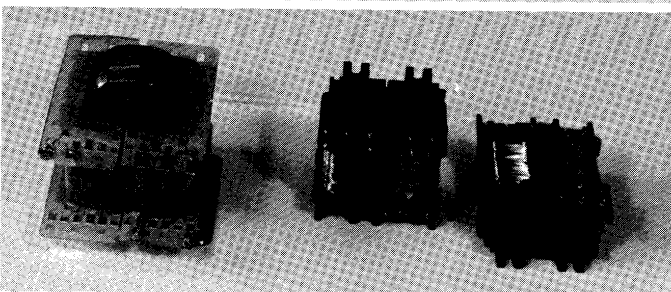
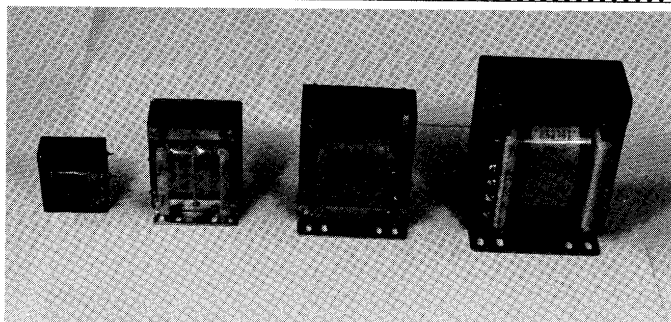
Aan de secundaire zijde wordt vermogen afgenomen door de belasting, dit vermogen wordt aan de primaire zijde opgenomen uit het lichtnet. Deze vermogensoverdracht is vrijwel zonder verlies, er gaat wat vermogen verloren door de ohmse weerstand van de wikkeldraden, en de kern, die zo geconstrueerd is dat de vermogensoverdracht zo goed mogelijk is, geeft ook toch wat verlies. Dit verloren vermogen wordt omgezet in warmte, zodat een transformator voor hoge vermogens niet te klein mag worden gekozen, met het oog op de kernverliezen. Ook de dikte van het wikkeldraad moet worden aangepast aan het over te dragen vermogen. Aan de primaire zijde is





afb. 1 M-kern transformatoren.
afb. 2 E I-kern transformatoren.
afb. 3 C-kern transformatoren.

tabel 1 Gegevens van M-kernen.



door de hoge spanning maar een kleine stroomsterkte nodig om het secundaire vermogen te kunnen leveren en veel wikkelingen die door de kleine stroomsterkte een dunne draaddoorsnede hoeven te hebben. Aan de secundaire zijde is de stroomsterkte veel hoger en het aantal wikkelingen laag, zodat de draaddikte aan de primaire zijde veel groter is.

Uitvoeringen van een transformator

In de handel zijn vele soorten transformatoren verkrijgbaar met allemaal verschillende secundaire spanningen en vormen van de kern. Een paar kernvormen komen veel voor, de M-kernen en de EI-kernen. De M-kernen zijn vierkant van boven af gezien (zie afb. 1), de EI-kernen zijn langwerpig (zie afb. 2). In tabel 1 zijn de gegevens van veel voorkomende M-kernen verzameld, in tabel 2 die van EI-kernen. De opgegeven vermogens zijn de maximale vermogens die de transformatoren kunnen overdragen bij ohmse belasting. Vandaar is de eenheid van vermogen opgegeven in de voor transformatoren gebruikelijke eenheid VA (volt ampère) in plaats van de gebruikelijke W (watt). Bij inductieve of capacatieve belasting is het over te dragen vermogen in het algemeen lager, wat bij voedingsschakelingen van belang is. In tabel 1 is ook nog vermeld hoeveel wikkelingen er secundair nodig zijn om 1 V secundair te verkrijgen, deze gegevens kunnen nuttig zijn als de secundaire spanningswaarde te hoog of te laag is. Door het afwikkelen of bijwikkelen van de secundaire wikkeling kan de gewenste spanning worden verkregen. Een derde groep, in opkomst zijnde transformatoren, is de C-kern transformator. Anders dan bij de M- en EI-kernen, die uit bliklamellen worden opgestapeld, bestaan de C-kernen uit tot een ring-

TABEL 1

Type	Vermogen (in VA)	Hoogte (in cm)	Wind./ V sec
M42	4	15	28
M55	12	20	13,5
M65a	24	27	7,5
M65b	40	32	5,5
M74	40	32	5,7
M85a	65	32	4,3
M85b	85	45	4,3
M102a	100	35	3,4
M102b	150	52	2,4

vorm gebogen lamellen van een afwijkend materiaal. De wikkelingen bevinden zich op de ring, waardoor het veld in de ring wordt opgesloten en het bij elke transformator onvermijdelijke strooiveld zeer klein wordt. Door de constructie zijn C-kernen ook zeer laag. In afb. 3 zijn drie C-kerntransformatoren te zien, uit de dump (Radio Service Twente) afkomstig. Nieuw zijn C-kerntransformatoren nogal prijzig door het hoogwaardige materiaal dat er voor moet worden gebruikt. Behalve de kernvorm kunnen transformatoren ook nog verschillen door de wijze waarop de wikkelingen op de kern worden geplaatst. In de afbeeldingen zijn daarvan voorbeelden te zien. Het veiligst is het volledig scheiden van primaire en se-

cundaire wikkelingen door de windingen in twee kamers te wikkelen. Het over elkaar heen wikkelen van de twee wikkelingen komt ook vaak voor. Wat prestaties betreft is er weinig verschil tussen beide wikkelmethodes.

Keuze van de transformator

Als u een transformator gaat kopen, zijn de specificaties die gegeven worden altijd de nominale spanning(en), het maximale vermogen in VA of de nominale stroom in A. Welke transformator moet u nu kopen? Allereerst, wat hebben deze specificaties voor betekenis? De nominale spanning is de secundaire spanning bij het maximaal toegelaten belasten van de secundaire

TABEL 2

Type	Breedte x lengte (in cm)	Vermogen (in VA)
E I 42	42x35	2,5
E I 48	48x40	5,5
E I 54	54x45	9,5
E I 66	66x55	22
E I 78	78x65	50
E I 84	84x70	65
E I 96	96x80	110
E I 120	120x100	220

wikkeling, waarbij het maximaal toegelaten belasten, opgegeven in VA, geldt bij belasten met een weerstand.

Het nominale vermogen is het maximaal af te nemen vermogen aan de secundaire zijde, alweer bij zuiver ohmse belasting. De nominale stroom tenslotte is het nominale vermogen gedeeld door de nominale spanning. Als er meerdere secundaire spanningen zijn, is het nominale vermogen, zoals dat bijvoorbeeld in tabel 2 en 3 is opgenomen, het totale vermogen, te verdelen over de secundaire spanningen. In de praktijk zal de gemeten onbelaste secundaire spanning hoger zijn dan de nominale waarde, alleen bij de toegelaten nominale belasting daalt de secundaire spanning tot de nominale waarde. Verder is de vorm van belasting belangrijk. Bij de nominale waarden gaat men uit van ohmse belasting, andersoortige belastingen, zoals bij de hierna te beschrijven gelijkrichterschakelingen, mogen de transformator in

het algemeen minder zwaar belasten. Andere eigenschappen die bij aankoop van een transformator van belang kunnen zijn, zijn bijvoorbeeld het aanwezig zijn van elektro-statische schermen tussen secundaire en primaire wikkelingen en andere maatregelen die getroffen zijn om capacatieve overspraak tussen primaire en secundaire wikkeling te verminderen. Deze eigenschappen zijn van belang als er gevaar bestaat dat stoorpulsen vanuit het lichtnet op de schakeling kunnen inwerken. We gaan hier verder op in bij de bespreking van de voedingsproblemen bij de audio-apparatuur en digitale schakelingen in een van de volgende artikelen.

Gelijkrichterschakelingen

In afb. 4 zijn de meest gangbare gelijkrichterschakelingen te zien, in afb. 5 en 6 de erbij behorende spanningen en stromen.

1. De enkelfasige gelijkrichter.

Het verschil tussen wisselstroom en gelijkstroom is, zoals de namen al suggereren, het voortdurend van richting verwisselen bij wisselstroom en het slechts in één richting vloeien van de gelijkstroom. Als we van de wisselstroom alleen het gedeelte in één richting doorlaten en het gedeelte in de andere richting tegen konden houden, dan zouden we, een weliswaar onregelmatig verloopende, gelijkstroom hebben. Het daarvoor geëigende onderdeel is de diode die de stroom immers maar in één richting doorlaat. Bij de enkelfasige gelijkrichting leggen we een uiteinde van de secundaire wikkeling aan aarde en verbinden het andere uiteinde met de belasting. Als we nu achter de diode kijken zien we wat in afb. 5 gestippeld is aangegeven: alleen de positieve gedeelten van de wisselspanning worden doorgelaten. Toevoegen van de condensator C_L zorgt

ervoor dat de pulserende gelijkspanning wordt omgezet in een min of meer constante gelijkspanning. Als de wisselspanning namelijk groter is dan de spanning over de condensator geleidt de diode en wordt de condensator opgeladen. Tussen twee wisselspanningspieken in wordt de condensator weer ontladen door de belasting (gestippeld aangegeven met R_L).

Het resultaat is het in afb. 5 getekende spanningsverloop over de condensator, afgezien van de rimpelspanning al een redelijke gelijkspanning.

Ook is in afb. 5 de stroom door de diode aangegeven, deze geleidt alleen bij de positieve toppen van de wisselspanning!

Voor de enkelfasige gelijkrichter gelden de volgende formules:

$$(1) V_{uit} = 1,4 V_N - 0,7$$

$$(2) V_{rimpel} = \frac{I_{uit}}{50 \times C_L}$$

waarin:

V_{uit} = de gemiddelde uitgangsspanning

V_N = de nominale secundaire transformatorspanning

0,7 = spanningsval over diode

V_{rimpel} = top-top waarde van de rimpelspanning

I_{uit} = de uitgangsstroom door de belasting vloeiend

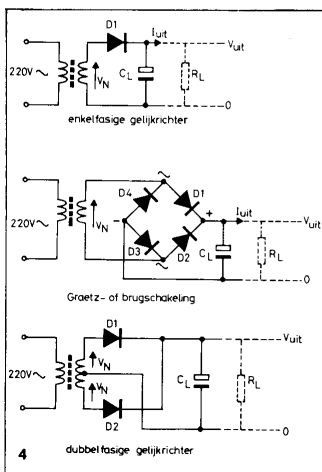
50 = herhalingsfrequentie van de wisselspanningspieken, de netfrequentie

C_L = waarde van de capaciteit van de buffercondensator.

De gemiddelde stroom door de diode is gelijk aan de uitgangsstroom. De trafo mag bij enkelfasige gelijkrichting tot 0,45 maal het nominale vermogen worden belast.

2. Dubbelfasige gelijkrichter.

Als we afb. 5 nog eens bekijken, zien we dat, door alleen de positieve wissel-



- afb. 4 De mogelijkheden om van een wisselspanning een gelijkspanning te maken.
 afb. 5 Spanningsverloop bij enkelfasige gelijkrichting.
 afb. 6 Spanningsverloop bij dubbelfasige en bruggelijkrichting.

tabel 2 Gegevens van EI-kernen.

selspanningspieken te gebruiken, er tussen twee pieken een gat ontstaat. Als we dit gat ook met een wisselspanningspiek konden opvullen, zou de rimpelspanning veel kleiner worden. De meest voor de hand liggende oplossing is een tweede wisselspanning, in tegenfase met de eerste, ook gelijk te richten en het geheel op te tellen.

Als de ene diode spert, dan geleidt de andere, zodat we het in afb. 6 getoonde spanningsverloop te zien krijgen. Toevoegen van de buffercondensator zorgt weer voor de afvlakking. Bij gelijke belasting en dezelfde buffercondensator is de rimpelspanning de helft van de rimpelspanning bij enkelfasige gelijkrichting.

Rest alleen nog het probleem twee wisselspanningen in tegenfase te verkrijgen. Bij dubbelfasige gelijkrichters gebruiken we daarvoor een transformator die aan secundaire zijde een wikkeling met een middenaftakking heeft. Door de middenaftakking aan aarde te leggen is aan de uiteinden van de wikkeling de gewenste in tegenfase zijnde wisselspanning beschikbaar. Voor de dubbelfasige gelijkrichter gelden de volgende formules:

$$(3) V_{uit} = 1,4 V_N - 0,7$$

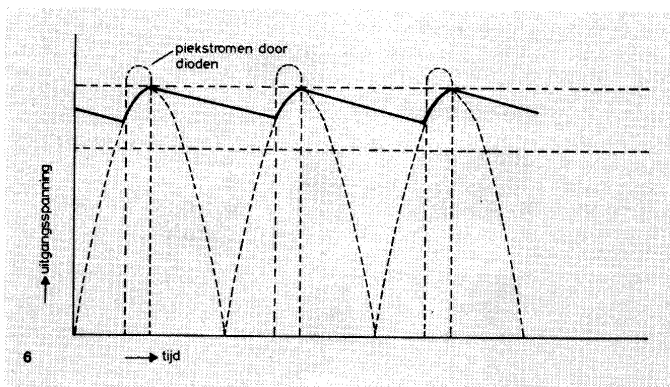
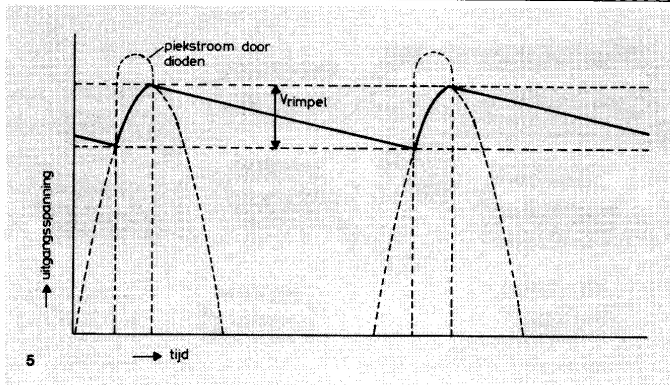
$$(4) V_{rimpel} = \frac{I_{uit}}{100 \times C_L}$$

waarin:

V_N = de wisselspanning tussen middenaftakking en een uiteinde van de secundaire wikkeling

100 = de herhalingsfrequentie van de wisselspanningspieken, die de condensator opladen.

De gemiddelde diodestroomsterkte is gelijk aan de halve uitgangsstroomsterkte, de transformator mag tot $0,5 \times$ het nominale vermogen worden belast.



3. De bruggelijkrichter

Goed beschouwd is de dubbelfasige gelijkrichter niets anders dan twee handig opgetelde enkelfasige gelijkrichters. We hebben dan ook een trafo nodig met een extra wikkeling. Bij enkelfasige en dubbelfasige gelijkrichters gebruiken we alleen de positieve wisselspanningspieken. Als we zowel positieve als negatieve pieken zouden gebruiken, hebben we het voordeel van de enkelfasige gelijkrichter, slechts één secundaire wikkeling, en het voordeel van dubbelfasige gelijkrichting, een lage rimpelspanning. De oplossing is de bruggelijkrichter, in de Duitstalige literatuur ook wel Graetzgelijkrichter genoemd. De werking is als volgt (zie ook afb. 4). Als de bovenzijde van de secundaire wikkeling positief is, geleiden de dioden D_1 en D_3 , en wordt de condensator opgeladen. Als de bovenzijde vervolgens negatief wordt, gaan de daarvoor sperrende dioden D_2 en D_4 geleiden. Via D_4 wordt de condensator weer op de positieve span-

ning aangesloten, via D_4 op de negatieve spanning. De dioden doen dus niets anders dan de wisselspanning om te schakelen, zodat positieve en negatieve pieken effectief worden gebruikt. Het resultaat is ook weer in afb. 6 te zien.

Voor de bruggelijkrichter geldt:

$$(5) V_{uit} = 1,4 V_N - 1,4$$

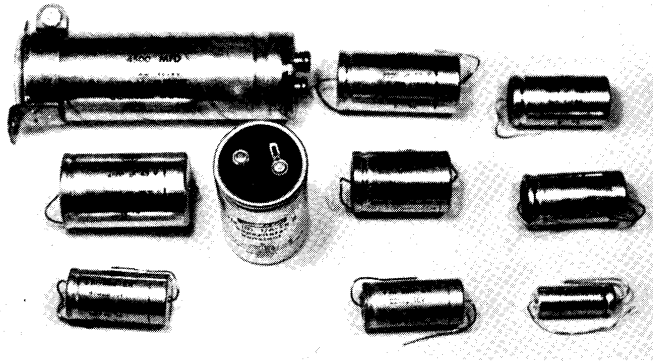
$$(6) V_{rimpel} = \frac{I_{uit}}{100 \times C_L}$$

De formules zijn overeenkomstig de formules bij de dubbelfasige gelijkrichter, alleen is de spanningsval over de gelijkrichters nu $1,4 V$ (twee dioden). De stroom door de dioden is gelijk aan gemiddeld de halve uitgangsstroom, de transformator mag bij bruggelijkrichting tot $0,65 \times$ het nominale vermogen worden belast.

Keuze van de wijze van gelijkrichten

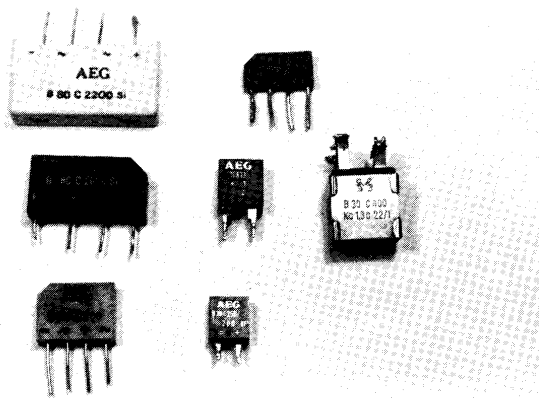
De keuze tussen enkelfasige gelijkricht-

7



afb. 7 Buffercondensatoren, bij grotere werkspanningen worden de afmetingen groter.
afb. 8 Bruggelijkrichters.

8



ting enerzijds en dubbelfasige en bruggelijkriching anderzijds is niet zo moeilijk. Door de tweemaal zo hoge rimpelspanning is enkelfasige gelijkrichting alleen toepasbaar bij lage uitgangsströmen.

De keuze tussen dubbelfasige en bruggelijkriching is afhankelijk van de beschikbare transformator. Voor dubbelfasige gelijkrichting hebben we twee secundaire wikkelingen nodig met ieder dezelfde wisselspanningswaarde V_N , bij bruggelijkriching hebben we slechts één secundaire wikkeling met de wisselspanningswaarde V_N nodig. Bij dubbelfasige gelijkrichting hoeven de beide secundaire wikkelingen ieder maar de helft van het af te nemen vermogen te leveren, bij bruggelijkriching moet de ene wikkeling het gehele vermogen leveren.

Bruggelijkriching is iets efficiënter dan dubbelfasige gelijkrichting, het af te nemen vermogen is $0,65 \times$ het nominale vermogen bij dubbelfasige gelijkrichting is dit $0,5 \times$. Dubbelfasige gelijk-

richting heeft wel als voordeel de iets hogere uitgangsspanning (0,7 V) en het uitsparen van twee gelijkrichtdioden.

Dubbelfasige gelijkrichting zullen we dus toepassen als de transformator een secundaire wikkeling met middenaftakking heeft. Bij een transformator met twee (gelijke) secundaire wikkelingen kunnen we een efficiënter gebruik van de transformator maken door de beide wikkelingen parallel te schakelen (in fase, in tegenfase parallel schakelen geeft een uitgangsspanning van 0 V!) en bruggelijkriching toe te passen.

De keuzen van de transformator is erg belangrijk, in het algemeen is de transformator het duurste en zwaarste onderdeel van een voeding.

Gelijkrichters

In de hiervoor besproken gelijkrichterschakelingen werden siliciumdioden gebruikt als gelijkrichter, vandaar de spanningsval van 0,7 V over de dioden. Voor dit doel zijn gewone dioden niet zo geschikt, de stroomsterkten

zijn daarvoor te hoog. In de handel zijn speciale dioden verkrijgbaar, voor stroomsterkten tot 1 A zijn de IN4001-IN4007 series bekend. Voor hogere stroomsterkten zijn types als de IN5407 (3 A) geschikt. Voor nog hogere stroomsterkten is de warmteontwikkeling door de vermogensdissipatie ($0,7 \text{ V} \times I_{\text{gem}}$) zo hoog dat koeling noodzakelijk is en de dioden van schroefaansluitingen zijn voorzien. Voor bruggelijkrichers zijn de vier dioden in één behuizing verkrijgbaar (zie afb. 7).

Meestal is in het typenummer de informatie over het toepassingsgebied opgenomen. Zo is bijvoorbeeld het type B40C2200 een bruggelijkricher voor werkspanningen tot 40 V (getal achter de letter B) en gemiddelde stroomsterkten tot 2,2 A (getal achter de letter C in mA). Ook komt men wel typenummers zoals B40C2200/3200 tegen. De gemiddelde stroomsterkte is dan weer 2,2 A, maar tijdelijke overbelastingen tot 3,2 A zijn toegestaan.

Buffercondensatoren

De voor de afvlakking toegepaste condensatoren moeten voor een kleine rimpelspanning een flinke capaciteit hebben, zodat alleen elektrolytische condensatoren (ook wel elco's genoemd) in aanmerking komen. In afb. 8 zijn een aantal van dit soort condensatoren te zien, ze zijn zowel in bekerbehuizing als in axiale uitvoering te verkrijgen. Elco's hebben een maximaal toegestane werkspanning en moeten met een juiste polariteit worden aangesloten. Maak daar geen fouten mee, want een flinke ontploffing is het resultaat. Bij toenemende werkspanning nemen afmetingen en prijs behoorlijk toe, zodat het zinvol is de kleinst mogelijke te kiezen, die bij de optredende wisselspanningspieken nog toelaatbaar is.