

ZELF VOEDINGEN ONTWERPEN EN BOUWEN

BEREKENING VAN EEN GELIJKRICHTER-SCHAKELING

A. RAES

In dit artikel worden de volgende, veelvuldig toegepaste schakelingen behandeld.

- 1) De enkelfasige gelijkrichtschakeling, afb. 1
- 2) De dubbelfasige gelijkrichtschakeling, afb. 2

In afb. 1 en 2 vertegenwoordigt R de weerstand teweeggebracht door de primaire en secundaire wikkelingen van de transformator en door de dioden.

In de periode A - B (zie afb. 1 en 2) wordt de condensator C geladen. De spanning U_c van de condensator neemt hierbij toe met ΔU_c (rimpelspanning). De ontlading gebeurt in de periode B - C, waarbij de spanning weer afneemt met hetzelfde bedrag ΔU_c .

In afb. 1 is de tijdsduur B - C van de ontlading aanmerkelijk groter dan in afb. 2 met als gevolg dat de rimpelspanning ΔU_c ook aanmerkelijk groter zal zijn. De enkelfasige gelijkrichter schakeling komt dan ook alleen in aanmerking als de te leveren stroom klein is.

Onderstaande berekeningsmethode is gesteund op het feit dat voor de bepaling van de oppervlakte gelegen boven de lijn A - B, deze mag worden vervangen door de horizontale lijn C - D (zie afb. 3). Het punt O ligt in het midden van lijn A - B. Indien lijn A - B niet te steil is, bijv. wanneer ΔU_c kleiner is dan $\frac{2}{3} h U_c$, dan is de oppervlakte van driehoek ACO praktisch gelijk aan driehoek OBD en dan is de gemaakte fout te verwaarlozen.

De nauwkeurigheid van de methode zal later nog ter sprake komen. Hierbij dient tevens te worden opgemerkt, dat men in de praktijk steeds zal streven naar een kleine rimpelspanning ΔU_c om volgende redenen:

- 1) Vermindering van het spannings-

verlies, met als gevolg een hogere uitgangsspanning.

- 2) Vermindering van de wisselspanningscomponent in de uitgangsspanning.

Berekening van de hoeveelheid elektriciteit toegevoerd tijdens de lading

Deze wordt gegeven door de integraal.

$$\int_0^{\beta} i \cdot d\alpha$$

zie afb. 4 α is evenredig met de tijd t.

$$\text{Nu is } i = \frac{U_t}{R} (\cos \alpha - \cos \beta)$$

$$\begin{aligned} \int_0^{\beta} i \cdot d\alpha &= \int_0^{\beta} \frac{U_t}{R} (\cos \alpha - \cos \beta) d\alpha \\ &= \frac{U_t}{R} (\sin \alpha - \alpha \cos \beta) \Big|_0^{\beta} \\ &= \frac{U_t}{R} (\sin \beta - \beta \cos \beta) \\ &= \frac{U_t}{R} \cos \beta (\text{tg } \beta - \beta) \end{aligned}$$

In bovenstaande formules dient β in radialen te worden uitgedrukt. De hoeveelheid elektriciteit geleverd

bij de lading moet gelijk zijn aan de hoeveelheid die aan de uitgangsklemmen wordt afgenomen. We nemen aan dat de geleverde stroom een constante waarde heeft zoals dit het geval is bij een gestabiliseerde voeding. Men bekomt dan de volgende formules (afb. 4):

- 1) dubbelfasige gelijkrichting:

$$\begin{aligned} \frac{U_t}{R} \cos \beta (\text{tg } \beta - \beta) &= I \frac{\pi}{2} \rightarrow \\ \rightarrow \cos \beta (\text{tg } \beta - \beta) &= \frac{\pi I R}{2 U_t} \end{aligned}$$

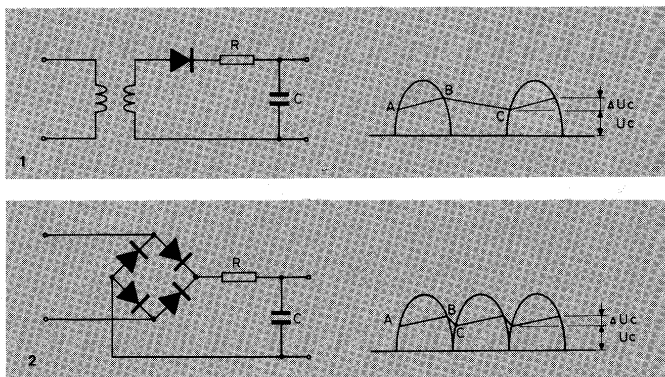
- 2) enkelfasige gelijkrichting:

$$\begin{aligned} \frac{U_t}{R} \cos \beta (\text{tg } \beta - \beta) &= I \pi \rightarrow \\ \rightarrow \cos \beta (\text{tg } \beta - \beta) &= \frac{\pi I R}{U_t} \end{aligned}$$

In tabel 1 is de waarde van de oppervlakte = $\cos \beta (\text{tg } \beta - \beta)$

opgenomen voor hoeken gaande van 15° tot 60° , oplopend met trappen van een halve graad.

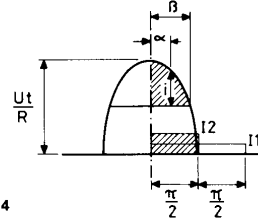
In de tweede kolom van de tabel is aangegeven de waarde $\frac{2\beta}{\pi}$ (afb. 5).



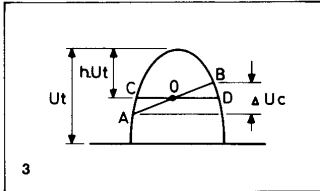
tabel 1 Dubbefasige gelijkrichting:

Opp. = $\frac{\pi I R}{2 U t}$
 Enkelfasige gelijkrichting:
 Opp. = $\frac{\pi I R}{U t}$; Corr.: $\times \frac{1}{2}$;
 $\frac{I_{max}}{I} \times 2$; $\frac{I_{eff}}{I} \times \sqrt{2}$.

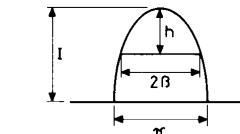
I₁ = gelijkstroom bij enkelf. gelijkrichting
 I₂ = gelijkstroom bij dubbef. gelijkrichting



Dit is de verhouding van de ladingsduur op de halve periode. Met β in graden uitgedrukt (n°) is deze verhouding ook gelijk aan $\frac{n}{90}$. Bij een netfrequentie van 50 Hz is de halve periode gelijk aan 0,01 s.



In de volgende kolom is een correctie aangegeven voor de ladingsduur. Deze correctie dient te worden toegepast omdat tijdens de lading evenzo de uitgangsstroom wordt geleverd, hetgeen tot gevolg heeft dat de ladingsduur vermindert. De bepaling van deze correctie cijfers komt later ter sprake. De berekening van de ontladingsduur geschiedt nu als volgt:



1) Dubbefasige gelijkrichting

Zij $\beta = 30^\circ$; $\frac{2\beta}{\pi} = 0,333$; Corr. = 6%
 Ladingsduur = $0,333 (1 - 0,06) \times 0,01 = 0,00313$ s.
 Ontladingsduur: $0,01 - 0,00313 = 0,00687$ s.
 of korter: Ontladingsduur = $0,01 (1 - 0,94 \times 0,333) = 0,00687$ s.

2) Enkelfasige gelijkrichting

In tabel 1 is de correctie aangegeven, die geldt voor dubbefasige gelijkrichting. Bij enkelfasige gelijkrichting is de correctie de helft zoals later zal worden aangetoond.
 Ladingsduur: $0,333 (1 - 0,03) \times 0,01 = 0,00323$ s.
 Ontladingsduur: $0,02 - 0,00323 = 0,01677$ s.
 of korter: Ontladingsduur: $0,01 (2 - 0,97 \times 0,333) = 0,01677$ s.
 De ontladingsduur to hebben we nodig om de rimpelspanning ΔUc te kunnen berekenen, vermits: $\Delta U_c = \frac{I_{to}}{C}$
 In de volgende kolom zijn de waarden voor h opgegeven. Vermits $h=1 - \cos \beta$ zijn deze waarden gemakkelijk te bepalen.

(β) n°	opp	$\frac{2\beta}{\pi}$	Corr.	h	$\frac{I_{max}}{I}$	$\frac{I_{eff}}{I}$
15°	0,00594	0,167		0,0341	9,00	2,68
	0,00655	0,172	3%	0,0363	8,72	2,64
16	0,00720	0,178		0,0387	8,45	2,60
	0,00788	0,183		0,0412	8,19	2,56
17	0,00861	0,189		0,0437	7,95	2,52
	0,00938	0,194		0,0462	7,72	2,485
18	0,01020	0,200	3,5%	0,0489	7,51	2,45
	0,0111	0,206		0,0517	7,30	2,415
19	0,0121	0,211		0,0545	7,12	2,38
	0,0130	0,217		0,0574	6,93	2,35
20	0,0140	0,222		0,0603	6,75	2,32
	0,0151	0,228	4%	0,0633	6,59	2,295
21	0,0162	0,233		0,0664	6,44	2,27
	0,0174	0,239		0,0696	6,28	2,245
22	0,0186	0,244		0,0728	6,15	2,22
	0,0199	0,250		0,0761	6,01	2,19
23	0,0212	0,256	4,5%	0,0795	5,88	2,165
	0,0226	0,261		0,0829	5,75	2,14
24	0,0241	0,267		0,0864	5,63	2,12
	0,0256	0,272		0,0900	5,52	2,10
25	0,0272	0,278		0,0937	5,41	2,08
	0,0288	0,283	5%	0,0974	5,31	2,06
26	0,0305	0,289	0,1012	5,22	2,04	
	0,0323	0,294		0,1050	5,12	2,02
27	0,0341	0,300		0,1090	5,02	2,00
	0,0360	0,306		0,1130	4,92	1,98
28	0,0380	0,311	5,5%	0,1170	4,83	1,96
	0,0400	0,317		0,1210	4,74	1,945
29	0,0422	0,322		0,1254	4,66	1,93
	0,0444	0,328		0,1296	4,58	1,91
30	0,0466	0,333	6%	0,134	4,51	1,895
	0,0489	0,339		0,138	4,44	1,88
31	0,0513	0,344		0,143	4,37	1,865
	0,0538	0,350		0,147	4,30	1,85
32	0,0563	0,356	6,5%	0,152	4,24	1,835
	0,0589	0,361		0,156	4,17	1,82
33	0,0616	0,367		0,161	4,11	1,805
	0,0644	0,372		0,166	4,05	1,79
34	0,0672	0,378		0,171	3,99	1,78
	0,0702	0,383	7%	0,176	3,93	1,77
35	0,0732	0,389		0,181	3,88	1,755
	0,0763	0,394		0,186	3,82	1,74
36	0,0795	0,400		0,191	3,77	1,73
	0,0828	0,406	7,5%	0,196	3,72	1,72
37	0,0861	0,411		0,201	3,67	1,71
	0,0896	0,417		0,206	3,62	1,695

(β) n°	opp	$\frac{2\beta}{\pi}$	Corr.	h	$\frac{I_{max}}{I}$	$\frac{I_{eff}}{I}$
38	0,0931	0,422		0,212	3,58	1,685
	0,0967	0,428		0,217	3,53	1,67
39	0,100	0,433	8%	0,223	3,49	1,66
	0,104	0,439		0,228	3,44	1,65
40	0,108	0,444		0,234	3,40	1,64
	0,112	0,450		0,239	3,36	1,63
41	0,116	0,456	8,5%	0,245	3,32	1,62
	0,120	0,461		0,251	3,28	1,61
42	0,124	0,467		0,257	3,24	1,60
	0,128	0,472		0,263	3,21	1,59
43	0,133	0,478	9%	0,269	3,17	1,58
	0,137	0,483		0,275	3,13	
44	0,142	0,489		0,281	3,10	1,566
	0,146	0,494		0,287	3,06	
45	0,151	0,500	9,5%	0,293	3,03	1,55
	0,156	0,506		0,299	3,00	
46	0,161	0,511		0,305	2,97	1,536
	0,166	0,517		0,311	2,94	
47	0,172	0,522	10%	0,318	2,91	1,52
	0,177	0,528		0,324	2,88	
48	0,182	0,533		0,331	2,85	1,505
	0,187	0,539		0,337	2,82	
49	0,193	0,544	10,5%	0,344	2,79	1,49
	0,199	0,550		0,350	2,76	
50	0,205	0,556		0,357	2,73	1,475
	0,211	0,561		0,364	2,70	
51	0,217	0,567	11%	0,371	2,68	1,46
	0,223	0,572		0,377	2,65	
52	0,229	0,578		0,384	2,63	1,45
	0,235	0,583		0,391	2,60	
53	0,242	0,589	11,5%	0,398	2,58	1,43
	0,248	0,594		0,405	2,55	
54	0,255	0,600		0,412	2,53	1,42
	0,262	0,606		0,419	2,51	
55	0,269	0,611	12%	0,426	2,49	1,41
	0,276	0,617		0,433	2,47	
56	0,283	0,622		0,441	2,45	1,40
	0,290	0,628		0,448	2,43	
57	0,297	0,633	12,5%	0,455	2,41	1,385
	0,304	0,639		0,462	2,39	
58	0,311	0,644		0,470	2,37	1,37
	0,318	0,650		0,477	2,35	
59	0,326	0,656	13%	0,485	2,33	1,36
	0,334	0,661		0,492	2,31	
60	0,342	0,667		0,500	2,29	1,35

Met h kan het spanningsverlies worden berekend, dat door de gelijkrichting wordt teweeggebracht. Men heeft: spanningsverlies = $h \times Ut$. Hier wordt opgemerkt dat nog een bijkomend spanningsverlies ontstaat door het toe- en afnemen van de condensatorspanning met ΔUc , tijdens de opvolgende ladingen en ontladingen. Uit afb. 3 volgt dat het totale spanningsveld gelijk is aan: $h \cdot Ut + \frac{\Delta Uc}{2}$

Bepaling van $\frac{I_{max}}{I}$

(I = uitgangsgelijkstroom).

We hebben gezien dat $O = \frac{\pi IR}{2 Ut}$

waaruit $I = \frac{2 Ut}{\pi R} O$

met $O = \cos \beta$ ($tg \beta = \beta$).

Nu is: $I_{max} = \frac{Ut}{R} (1 - \cos \beta) = \frac{Ut}{R} \cdot h$

Hieruit volgt: $\frac{I_{max}}{I} = \frac{\pi \cdot h}{2 O}$ (dubbel-fasige gelijkrichting).

Bij enkelfasige gelijkrichting bekomt men

$$\frac{I_{max}}{I} = \frac{\pi \cdot h}{O}$$

De verhouding is hier tweemaal groter. De dioden moeten in staat zijn deze repeterende maximale stroom- I_{max} in te voeren.

Berekening van $\frac{I_{eff}}{I}$

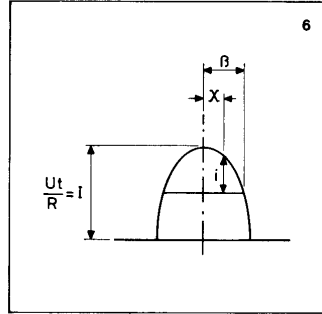
In de volgende kolom van tabel 1 is de waarde van $\frac{I_{eff}}{I}$ aangegeven die van groot belang is voor de dimensionering van de trafo en van de dioden, ofwel om bij een gegeven trafo de toegelaten uitgangsgelijkstroom te kunnen bepalen.

De berekening van $\frac{I_{eff}}{I}$ volgens de

klassieke methode is zeer omslachtig en stuit op grote moeilijkheden. Beter is het daarom een benaderende methode toe te passen, die erin bestaat de trigonometrische functies te vervangen door hun reeksen en de termen van hogere orden te laten wegvallen.

Wonderlijk genoeg bekomt men aldus een eenvoudige eindformule die een nauwkeurige uitkomst geeft, zoals uit het volgende blijkt.

De gebruikte reeksen zijn:



$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24} \dots$$

$$tg x = x + \frac{x^3}{3} + \frac{2}{15} x^5 \dots$$

In de volgende berekeningen worden telkens de termen met tweemaal hogere orde weggelaten.

1) Berekening van $O = \cos \beta$ ($tg \beta = \beta$)

$$O = (1 - \frac{\beta^2}{2}) (\beta + \frac{\beta^3}{3} + \frac{2}{15} \beta^5 - \beta)$$

$$= (1 - \frac{\beta^2}{2}) (\frac{\beta^3}{3} + \frac{2}{15} \beta^5)$$

$$O = \frac{\beta^3}{3} + \frac{2}{15} \beta^5 - \frac{\beta^5}{6} = \frac{\beta^3}{3} - \frac{\beta^5}{30}$$

$$O = \frac{\beta^3}{3} (1 - \frac{\beta^2}{10})$$

2) Berekening van $\frac{I_{eff}}{I}$ (zie afb. 6)

$$I_{eff}^2 \frac{\pi}{2} = \int_0^\beta i^2 dx. \text{ We stellen } \frac{Ut}{R} = 1$$

$$i^2 = (\cos x - \cos \beta)^2$$

$$= (1 - \frac{x^2}{2} + \frac{x^4}{24} - 1 + \frac{\beta^2}{2} - \frac{\beta^4}{24})^2$$

$$i^2 = \frac{x^4}{4} + \frac{\beta^4}{4} - \frac{x^6}{24} - \frac{\beta^2 x^2}{2} + \frac{x^2 \beta^4}{24}$$

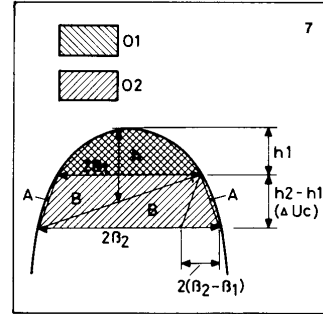
$$- \frac{\beta^6}{24} + \frac{\beta^2 x^4}{24}$$

De drie termen in de 8e macht zijn hier weggelaten.

Integratie levert op:

$$I_{eff}^2 \frac{\pi}{2} = \left[\frac{x^5}{20} + \frac{\beta^4 x}{4} - \frac{x^7}{168} - \frac{\beta^2 x^3}{6} + \frac{\beta^4 x^3}{72} - \frac{\beta^6 x}{24} + \frac{\beta^2 x^5}{120} \right]_0^\beta$$

$$= \frac{\beta^5}{20} + \frac{\beta^5}{4} - \frac{\beta^5}{6} - \frac{\beta^7}{168} + \frac{\beta^7}{72} - \frac{\beta^7}{24} + \frac{\beta^7}{120}$$



Na uitwerking vindt men:

$$I_{eff}^2 \frac{\pi}{2} = \frac{2}{15} \beta^5 - \frac{8}{315} \beta^7$$

$$= \frac{2}{15} \beta^5 (1 - \frac{4}{21} \beta^2)$$

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{4 \beta^5}{15 \pi} (1 - \frac{4}{21} \beta^2)}$$

We hebben gezien dat

$$I = \frac{20}{\pi} = \frac{2 \beta^3}{3 \pi} (1 - \frac{\beta^2}{10})$$

(bij dubbelfasige gelijkrichting).

Dan is:

$$\frac{I_{eff}}{I} = \frac{\sqrt{\frac{4 \beta^5}{15 \pi} (1 - \frac{4}{21} \beta^2)}}{\frac{2 \beta^3}{3 \pi} (1 - \frac{\beta^2}{10})}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \beta^5}{15 \pi} \cdot \frac{9 \pi^2}{4 \beta^5} (1 - \frac{2}{21} \beta^2 + \frac{\beta^2}{10})}$$

$$\frac{I_{eff}}{I} = \sqrt{\frac{3 \pi}{5 \beta} (1 + \frac{\beta^2}{210})}$$

Nu is $\beta = \frac{\pi n}{180}$ (n in graden)

$$\frac{I_{eff}}{I} = \sqrt{\frac{3 \times \pi \times 180}{5 \times \pi \times n} \left[1 + \left(\frac{\pi n}{180} \right)^2 \frac{1}{210} \right]}$$

$$\frac{I_{eff}}{I} = \sqrt{\frac{108}{n} \left\{ 1 + 0,0117 \left(\frac{n}{90} \right)^2 \right\}}$$

Proef: $n = 90^\circ$

$$\frac{I_{eff}}{I} = \sqrt{\frac{108}{90} (1 + 0,0117)}$$

$$= 1,095 (1 + 0,0117)$$

$$= 1,095 + 0,0128 = 1,1078.$$

Uit de theorie over wisselstroomgrootheden weten we dat de juiste waarde

$$\frac{I_{eff}}{I} \text{ voor éen sinusoïde gelijk is aan } \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$



Uit bovenstaande volgt dat als we de formule vereenvoudigen tot:

$$\frac{l_{\text{eff}}}{l} = \sqrt{\frac{108}{n}}$$

de fout bij $n=90^\circ$ minder dan 1,5% bedraagt.

Vermits de fout, voor kleinere hoeken n , vermindert in de verhouding n^2 , zo is het duidelijk dat deze formule voldoende nauwkeurig is voor de bepaling van $\frac{l_{\text{eff}}}{l}$ voor n kleiner dan 60° .

Bij enkelfasige gelijkrichting zouden we

gevonden hebben: $l^2_{\text{eff}} \pi = \int_0^\beta l^2 dx$

$$\text{en: } l = \frac{O}{\pi} = \frac{\beta^3}{3\pi} \left(1 - \frac{\beta^2}{10}\right)$$

$$\text{Dit leidt tot } \frac{l_{\text{eff}}}{l} = \sqrt{\frac{216}{n}} = \sqrt{\frac{108}{n}} \cdot \sqrt{2}$$

3) Berekening van $\frac{l_{\text{max}}}{l}$

Het is nuttig ook over een benaderende formule voor de bepaling van $\frac{l_{\text{max}}}{l}$

te kunnen beschikken die vooral van belang is voor kleinere waarden van n . Voor dubbelfasige gelijkrichting hadden we gevonden:

$$\frac{l_{\text{max}}}{l} = \frac{\pi h}{2O}$$

$$h = 1 - \cos \beta = 1 - 1 + \frac{\beta^2}{2} - \frac{\beta^4}{24}$$

$$= \frac{\beta^2}{2} \left(1 - \frac{\beta^2}{12}\right)$$

Men bekomt dan:

$$\frac{l_{\text{max}}}{l} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\frac{\beta^2}{2} \left(1 - \frac{\beta^2}{12}\right)}{\frac{\beta^3}{3} \left(1 - \frac{\beta^2}{10}\right)}$$

$$= \frac{3\pi}{4\beta} \left(1 - \frac{\beta^2}{12} + \frac{\beta^2}{10}\right) =$$

$$= \frac{3\pi}{4\beta} \left(1 + \frac{\beta^2}{60}\right)$$

Met $\beta = \frac{\pi n}{180}$ wordt de formule:

$$\frac{l_{\text{max}}}{l} = \frac{3\pi}{4} \cdot \frac{180}{\pi n} \left[1 + \left(\frac{\pi n}{180}\right)^2 \frac{1}{60}\right]$$

$$= \frac{135}{n} \left\{1 + 0,0103 \left(\frac{n}{45}\right)^2\right\}$$

Voor enkelfasige gelijkrichting is de verhouding tweemaal groter of:

$$\frac{l_{\text{max}}}{l} = \frac{270}{n} \left\{1 + 0,0103 \left(\frac{n}{45}\right)^2\right\}$$

We zien dat bij $n=45^\circ$ de fout slechts 1,03% bedraagt. Voor hoeken kleiner dan 30° kan men best de formule vereenvoudigen tot:

$$\text{a) dubbelfasige gelijkrichting} = \frac{l_{\text{max}}}{l} = \frac{135}{n}$$

$$\text{b) enkelfasige gelijkrichting} = \frac{l_{\text{max}}}{l} = \frac{270}{n}$$

Proef: $n = 90^\circ$

$$\frac{l_{\text{max}}}{l} = \frac{135}{90} (1 + 0,0103 \times 2^2)$$

$$= 1,5 (1 + 0,0412)$$

$$= 1,5 + 0,062 = 1,562$$

$$\text{Juist is: } \frac{\pi}{2} = 1,57$$

Invloed van de rimpelspanning ΔU_c bij de berekening van O

Zie afb. 7. De gezochte oppervlakte is $O_1 + A + B$. O_1 is de oppervlakte boven de lijn $2\beta_1$, O_2 is de oppervlakte boven de lijn $2\beta_2$.

Als men O_1 en O_2 samentelt, en daarvan aftrekt de in de afbeelding aangeduide driehoek met oppervlakte $(\beta_2 - \beta_1)(h_2 - h_1)$ dan blijft over: $2O_1 + 2A + 2B$. Dit is tweemaal de gezochte oppervlakte.

We zoeken nu de juiste oppervlakte voor het geval dat $\Delta U_c = \frac{2}{3}h$, zie afb.

8. Bij het noteren van de oppervlakte moet men bedenken dat de O_{opp} , opgegeven in tabel 1 met 2 moet worden vermenigvuldigd.

	β	O_{opp}	h
21°	0,36652	0,0324	0,0664
15°	-0,2618	+0,01188	-0,0341
	0,1047	0,04428	0,0323

$$\text{gem.} = 0,0503$$

Juiste O_{opp} =

$$\frac{0,04428 - 0,1047 \times 0,0323}{2} = 0,02045$$

Voor $h = 0,0503$ is $\cos \beta = 0,9497$
 $\beta = 18^\circ 15'$

De oppervlakte is dan volgens tabel 1 $2 \times 0,01065 = 0,0213$

$$\text{Procentuele fout} = \frac{213 - 204,5}{213} = 4\%$$

Bovenstaande berekening toont aan dat wanneer $\Delta U_c = \frac{2}{3}h$ de oppervlakte

4% kleiner is dan die welke men bekomt met eenzelfde h maar met $\Delta U_c = 0$.

Deze fout geldt voor een kleine hoek van ca. 18° . Maakt men een gelijkwaardige berekening, maar thans voor een grotere hoek ($\beta_1 = 41^\circ$; $\beta_2 = 60^\circ$; $\beta_{\text{gem}} = 51^\circ 8'$) dan vindt men een procentuele fout van 4,8%.

Als gemiddelde procentuele fout voor een kleine tot grote hoek nemen we 4,5%.

We hebben in voorgaand hoofdstuk bepaald dat, afgezien van de kleine correctietermen: $O = K_1 \beta^3$; $h = K_2 \beta^2$;

$$\frac{l_{\text{max}}}{l} = \frac{K_3}{\beta}; \quad \frac{l_{\text{eff}}}{l} = \frac{K_4}{\sqrt{\beta}}$$

(K_1 , K_2 , K_3 en K_4 zijn constanten).

Dit betekent het volgende. Als O moet worden verhoogd, dan volgt daaruit een verhoging van β en van h . Volgens bovenstaande formules bekomt men:

$$\frac{\Delta \beta}{\beta} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta O}{O}; \quad \frac{\Delta h}{h} = 2 \frac{\Delta \beta}{\beta}$$

$$= \frac{2}{3} \cdot \frac{\Delta O}{O}$$

M.a.w. als O moet worden verhoogd met 4,5%, dan verhoogt β met 1,5% en h met 3%. $\frac{l_{\text{max}}}{l}$ is omgekeerd evenredig met β en vermindert dus met

$\frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta O}{O}$ of 1,5%. $\frac{l_{\text{eff}}}{l}$ is omgekeerd evenredig met $\sqrt{\beta}$ en vermindert bijgevolg met $\frac{1}{6} \cdot \frac{\Delta O}{O}$ of 0,75%.

Wanneer we een gelijkwaardige berekening maken, maar nu voor het geval dat $\Delta U_c = h$, dan vinden we een gemiddelde procentuele fout van 10,8%. h neemt in dit geval toe met

$\frac{2}{3} \cdot 10,8 = 7,27\%$.

$$\frac{2}{3} \cdot 10,8 = 7,27\%$$

Uit het voorgaande kunnen we concluderen dat, wanneer de rimpelspanning ΔU_c een waarde bereikt, die gelijk of kleiner is dan $\frac{2}{3}$ van het spanningsverlies, de fouten in de berekening, die hiervan het gevolg zijn, mogen worden verwaarloosd.

Correctie van de ladingduur

Wanneer het net stroom levert aan de condensator van A tot A' (zie afb. 9), dan neemt de laadstroom toe van nul tot I_{max} en vermindert vervolgens weer tot nul. Van A tot B is de laadstroom kleiner dan de uitgangsstroom. Dit is eveneens het geval in de tijdspanne B' tot A'.

Dit betekent dat de condensator nog ontladen wordt van A tot B en van B' tot A'. In A is I_c = I en wordt nul in B. Van B' tot A' neemt I_c weer toe van nul tot I.

Uit het bovenstaande volgt dat de ontledingstijd wordt verlengd met

$$\frac{AC}{2} + \frac{C'A'}{2}$$

hetgeen neer komt op een vermindering van de ladingstijd met hetzelfde bedrag. De procentuele afname kan als volgt worden gevonden:

Voorbeeld:
 $\beta = 30^\circ; h = 0,134; \frac{I_{max}}{I} = 4,51$

$$h' = \frac{0,134 \times 3,51}{4,51} = 0,1042$$

$$\cos \beta' = 1 - h' = 1 - 0,1042 = 0,8958$$

$$\rightarrow \beta' = 26^\circ 23' = 26,38^\circ$$

$$\text{Corr} = \frac{\beta - \beta'}{2\beta} = \frac{30 - 26,38}{2 \times 30} = 6\%$$

Het gevonden correctiecijfer geldt voor dubbelfasige gelijkrichting. Bij enkelfasige gelijkrichting is $\frac{I_{max}}{I}$ dubbel zo groot. Daaruit volgt dat de correctiecijfers praktisch de helft zullen zijn van deze die gelden bij dubbelfasige gelijkrichting.

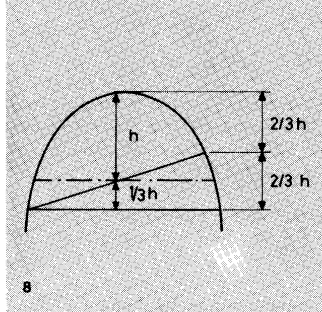
Voorbeeld van berekening van een schakeling met dubbelfasige gelijkrichting, afb.2

Zij gegeven: de transformator: 50 VA; prim.: 220 V; sec.: 26 V bij nullast. Spanningsverlies bij vollast = 15%; R_p = 34 Ω; R_s = 0,8 Ω

Toegelaten vollastwisselstroom: $\frac{50}{26} \times 1,15 = 2,21$ A.

$$R_v = 34 \times \left(\frac{26}{220}\right)^2 + 0,8 = 1,28 \Omega$$

Bij een brugschakeling zijn er bij stroomdoorgang steeds twee dioden in serie. De invloed van deze dioden in de stroomketen is te vertalen door een



tegenspanning U en een kleine weerstand R. Deze waarden kunnen eventueel proefondervindelijk worden bepaald.

Voor een BY 164 bedraagt de spanningsval ongeveer: 1,6 V + 0,24 I.

We bepalen nu eerst de oppervlakte $\frac{\pi I R}{2 U t}$

Voor I moeten we een schatting maken. Nemen de voorlopig aan dat $\frac{I_{eff}}{I} = 1,9$ dan is $I = \frac{2,21}{1,9} = 1,16$ A

Beproeven we I = 1,2 A.
 R = 1,28 + 0,24 = 1,52 Ω.
 U_t = 26 × √2 - 1,6 = 36,8 - 1,6 = 35,2 V.

$$O = \frac{\pi I R}{2 U t} = \frac{3,14 \times 1,2 \times 1,52}{2 \times 35,2} = 0,0813$$

We zien in tabel 1 dat $\frac{I_{eff}}{I} = 1,72$ en dat we dus I mogen verhogen. We nemen $I = \frac{2,21}{1,70} = 1,3$ A

$$O = \frac{\pi I R}{2 U t} = \frac{3,14 \times 1,3 \times 1,52}{2 \times 35,2} = 0,0881$$

Tabel 1 geeft thans $\frac{I_{eff}}{I} = 1,70$, zodat de gekozen waarde van I juist is.

Verder lezen we af (met toepassing van interpolatie) $\frac{2\beta}{\pi} = 0,414$; Corr. = 7,5%; h = 0,203; $\frac{I_{max}}{I} = 3,64$

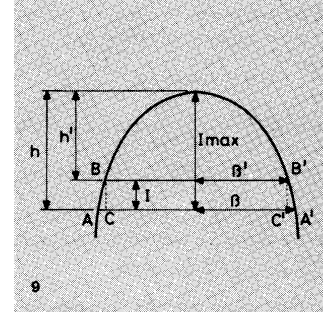
$$\text{Spanningsverlies} = 35,2 \times 0,203 = 7,15 \text{ V.}$$

Ontladingstijd: 0,01 (1 - 0,925 × 0,414) = 0,00617

Voor de filtercondensator nemen we voorlopig = 2200 μF

$$\text{Rimpelspanning } \Delta U_c = \frac{I \cdot t_o}{C} = \frac{1,3 \times 0,00617 \times 10^6}{2200} = 3,64 \text{ V.}$$

De rimpelspanning is kleiner dan $\frac{2}{3}$ van het spanningsverlies 7,15 V en kan dus



worden aanvaard.

Verlangt men evenwel een kleinere rimpelspanning, hetgeen m.i. verkieslijk is om vroeger opgegeven redenen, dan kan dit bereikt worden door verhoging van de condensatorcapaciteit tot 4700 μF in plaats van 2200 μF.

Het totale spanningsverlies is nu:

$$7,15 + \frac{3,64}{2} = 8,97 \text{ V afgerond } 9 \text{ V.}$$

De resterende nuttige gelijkspanning is dan: 35,2 - 9 = 26,2 V.

Belasting der dioden

1) Bij iedere stroomdoorgang zijn 2 van de 4 dioden in geleiding, terwijl de andere twee zijn gesperd.

Bij de volgende stroomdoorgang worden de rollen omgekeerd. Iedere diode geleidt dus bij de helft van het totaal aantal stroomdoorgangen.

Uit bovenstaande volgt:

a) In iedere diode is I gem. = 1,3 : 2 = 0,65 A.

b) De verhouding $\frac{I_{eff}}{I}$ wordt als volgt gewijzigd. Daar de diode slechts eenmaal per periode geleidt dient I_{eff} met de factor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ te worden vermindert.

De noemer I = I gem. is echter de helft geworden, zodat in totaal $\frac{I_{eff}}{I}$ met $\sqrt{2}$ moet worden vermenigvuldigd.

Men bekomt dan: $\frac{I_{eff}}{I} = 1,7 \times \sqrt{2} = 2,4$.

Deze twee gegevens stellen ons in staat de dioden te dimensioneren (zie specificatieboeken van de fabrikanten).

2) I_{max} = 3,64 × 1,3 = 4,73 A.

Dit is een repeterende maximum stroomwaarde, die door de bruggdioden veilig moet kunnen worden verwerkt.