

10 OPLOSSEN MET NUMERIEKE INTEGRATIE.....	1
10.1 Gegeven.....	1
10.2 De Doelstelling	2
10.3 De Algemene Oplossing voor gelijk welk circuit	3
10.4 Toegepaste oplossing op ons circuit	5

10 OPLOSSEN MET NUMERIEKE INTEGRATIE

Dit is een vervolg van mijn eerder document "Klasse-E-Algebra", waarin de voornaamste elementen uitvoerig zijn uitgelegd.

Snij het tijdsverloop van de te onderzoeken signaal in duizend kleine schijfjes, zodat men in dit kleine tijdsinterval men kan aannemen dat het verloop van de spanning of stroom zich **lineair** gedraagt, dit wil zeggen dat een kromme eigenlijk is samengesteld uit de optelsom van duizend minuscule kleine stukjes rechte lijnstukjes. En plak al deze lijnstukjes aan elkaar. Laat dit laatste natuurlijk uitvoeren door een PC, die kan dat veel sneller en zonder fouten te maken. Dit is numerieke integratie.

Een veel te weinig gekende (en op school praktisch niet onderwezen) methode om een netwerk op te lossen is juist deze eenvoudige numerieke integratie.

Deze methode geeft het verloop van de stroom en de spanning weer door de verschillende elementen in het netwerk.

Men kan deze methode alleen toepassen als de elementen in de schakeling gekend zijn. Dit lijkt op het eerste gezicht een weinig aantrekkelijke methode om dit te gebruiken om de waarde van de elementen van het circuit te vinden. Immers dit is toch het doel van al onze berekeningen namelijk zoek de waarden van C, C_s, L, L_s, R ! Maar met behulp van een computer en een computer programma kunnen we ook andersom te werk gaan en beginnen met een schatting van de waarde van de elementen en dan stilaan de ene waarde en de andere waarde een beetje veranderen totdat we de juiste componenten gevonden hebben die aan onze voorwaarden voldoen.

Wat zijn zoal onze gegevens en voorwaarden?

10.1 Gegeven

1^e- Het vermogen $P = V_{cc} \cdot I_{dc}$, de Voedingsspanning V_{cc} , de frekwentie f en de Q- faktor.

2^e- Uit een vorige uiteenzetting weten we dat $\frac{L_s \cdot \omega}{R} = Q_L$ en dus $L_s = \frac{Q_L \cdot R}{\omega}$, zo ook is

$$\frac{1}{\omega C_s} = (Q_L - q) \cdot R \text{ en } C_s = \frac{1}{(Q_L - q) \cdot \omega \cdot R}. \text{ Definieren we } p = C_p \cdot \omega \cdot R \text{ dan wordt } C_p = \frac{P}{\omega \cdot R}.$$

q en p zijn variabele parameters.

3^e- De belastingsweerstand R . Deze is zeer moeilijk juist te definiëren maar is gelijk aan

$$R = \frac{V_{cc}^2}{P} \cdot 2 \cdot \sin^2(\varphi) \cdot f(Q_L) \quad (6.1.1) \text{ waarin } f(Q_L) \text{ een factor is steeds kleiner dan 1 maar afhankelijk}$$

van de kwaliteitsfactor.

Het is namelijk zo dat alleen de 1^{ste} harmonische van het signaal bepalend is voor het vermogen, de andere harmonischen en misschien een DC-offset zijn te beschouwen als verlies. Dit moeten we compenseren, indien we niettegenstaande dat een vooropgezet bepaald vermogen willen produceren. Indien we nu de belastingsweerstand iets kleiner maken dan zal de stroom door deze weerstand groter worden en vermits

$P = \frac{R I_0^2}{2}$, hierin de stroom in het kwadraat voorkomt kan dus door de belasting te verminderen het vermogen vergroten.

Hoebepalen we R_L in functie van q , V_{cc} en P ?

We hebben bij de harmonische vervorming gezien dat $\frac{E_o}{E_i} = \frac{1}{\sqrt{1+q^2}}$. Nu weten we ook dat $P = \frac{E_o^2}{2R_L}$

of $E_o = \sqrt{2R_L P}$. Ook weten we uit de harmonische vervorming dat de verhouding van de 1^{ste}

harmonische tot de voedingspanning gelijk is aan $\frac{E_i}{V_{cc}} = 1.6377$. Noteer dat ook dit een vrij nauwkeurige

maar niet exacte benadering is, maar een werkbare methode. En noteer ook dat alleen de eerst harmonische van belang is en zal uitgezonden worden door de antenne. Alle andere harmonischen zijn te beschouwen als verloren energie. De LC-filterschakeling zal er voor zorgen dat zoveel mogelijk harmonischen zullen onderdrukt worden maar degenen die toch nog tot aan de antenne geraken zullen het totale rendement verminderen. We streven er echter na om een zo hoog mogelijk rendement te bekomen, echter 100% zullen we nooit halen.

Vullen we deze vergelijkingen in dan bekomen we dat; $\frac{\sqrt{2.P.R_L}}{1.6377.V_{cc}} = \frac{1}{\sqrt{1+q^2}}$ en hieruit leiden we af dat

$$R_L = \frac{1.6377^2.V_{cc}^2}{2.P.(1+q^2)} \text{ ofwel}$$

$$R_L = \frac{1.341.V_{cc}^2}{P.(1+q^2)} \quad (6.4.1)$$

Noteer als we (6.1.1) vergelijken met (6.1.2) dan bekomen we dat

$$f(Q_L) = \frac{1.341}{0.5768(1+q^2)} \text{ ofwel}$$

$$f(Q_L) = \frac{2.3249}{1+q^2} \quad (6.4.2)$$

10.2 De Doelstelling

1^o- het rendement moet 100% zijn of met andere woorden $V_{cc} \cdot I_{dc} = v_o \cdot i_o$ gemeten over de tijdsspanne van een periode. Vermits deze numerieke integratie methode het verloop van de spanning en de stroom weergeven kunnen we dus ook $v_o \cdot i_o$ bepalen.

2^o- de stroom door de switch moet 0 zijn op het ogenblik dat de schakelaar zich sluit. Dit is ook een element dat we kunnen nagaan, alhoewel we tot de bevinding zullen komen dat we nooit tot een rendement van 100% komen als de stroom niet 0 is als de switch zich sluit. De 1^o voorwaarde sluit dus deze voorwaarde uit.

10.3 De Algemene Oplossing voor gelijk welk circuit

Vermits deze oplossing zo algemeen is en van toepassing op gelijk welk te onderzoeken schema geef ik hier enkele algemene regels.

Het grote voordeel is dat deze methode zeer eenvoudig is en berust uitsluitend op de definitie van integraal en differentiaal en op de wetten van Kirchoff.

De wetten van Kirchoff zeggen dat in ieder knooppunt de som van alle stromen naar dat knooppunt is gelijk aan 0.

$$i_1 + i_2 + i_3 + \dots = 0$$

De stroom naar dat knooppunt kan een stroombron zijn maar de stroom door een element is ook gelijk aan de spanning over het element gedeeld door de impedantie. Zo is $\frac{v_2 - v_1}{z_1} = i_1$. Dit is verduidelijkt in

fig. 1

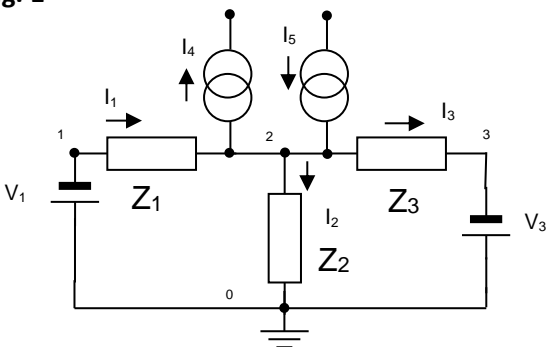


fig. 1

Maar ook dat de som der spanningen over de verschillende elementen in een gesloten omloop gelijk is aan 0.

$$v_1 + v_2 + v_3 + \dots = 0 \quad \text{Hierin is } v_1, v_2, v_3, \dots \text{ de spanning over het element of een spanningsbron.}$$

Noteer dat men vrij de richting van de stroom en spanning mag kiezen, maar eens dat men een richting gekozen heeft moet men deze ook consequent aanhouden. Een pijl naar het knooppunt is een positieve stroom ervan weg is een negatieve stroom. Zo ook met de spanningen, deze zijn positief als ze in dezelfde richting als aangeduid zijn worden doorlopen, maar negatief als ze in de andere richting opgeteld worden.

Wanneer een positieve spanningsval door een impedantie gedeeld wordt of $(\frac{v_2 - v_1}{z_1})$ dan is ook de stroom een positief getal.

De definitie van een spanningsval over een weerstand is $\frac{v_2 - v_1}{R_1} = i_1$. Noteer dat deze vergelijking onafhankelijk is van de tijd.

Zo hebben we ook gezien dat $v_c = \frac{1}{C} \int i \cdot dt$ en dus als we beide kanten differentiëren is

$$dv_c = \frac{1}{C} \cdot i \cdot dt$$

en de totale spanning over de capaciteit is de spanning die ervoor al over de capaciteit stond plus de bijdrage dv_c gedurende de korte tijdspanne dt , of

$$v_{c-nu} = v_{c-ervoor} + dv_c.$$

(In softwaretaal wordt dit dikwijls geschreven als $V=V+dv$.)

Op een gelijkaardige manier bekomen we dat uit de definitie $v_L = \frac{Ldi_L}{dt}$ of $v_L \cdot dt = Ldi_L$ dat

$$di_L = \frac{v_L dt}{L}$$

En de totale stroom door de impedantie is dan

$$i_{L-nu} = i_{L-ervoor} + di_L$$

Gewapend met deze kennis kunnen we in ons blokschema deze formules toepassen, maar in plaats van dt gebruiken we $\Delta t = \frac{2\pi}{n}$. Hierin is n een willekeurig maar groot getal (bv 360) zodat Δt ongeveer dt benadert. (met $n=360$ komt Δt overeen met een verschuiving van 1°). En onze formules worden dus eigenlijk

$$\Delta v_c = \frac{1}{C} \cdot i \Delta t$$

$$v_{c-nu} = v_{c-ervoor} + \Delta v_c.$$

Zook bekomen we

$$\Delta i_L = \frac{v_L \Delta t}{L}$$

$$i_{L-nu} = i_{L-ervoor} + \Delta i_L$$

Als we deze formules nog eens anders bekijken dan is

$\Delta v_c = \frac{1}{C} \cdot i \Delta t$ niets anders dan het berekenen van de oppervlakte van een rechthoek met als lengte $\frac{i}{C}$ en als breedte Δt en deze kleine oppervlakte wordt bijgeteld bij de vorige waarde. En deze twee eenvoudige bewerkingen geven me de integraal $v_c = \frac{1}{C} \int i \cdot dt$. Toch merkwaardig dat het zo eenvoudig kan.

Zo ook zien we dat $\Delta i_L = \frac{v_L \Delta t}{L}$ op analoge wijze de oppervlakte is van een rechthoek met als lengte $\frac{v_L}{L}$ en als breedte Δt en deze kleine oppervlakte wordt bijgeteld bij de vorige waarde i_L . En deze twee eenvoudige bewerkingen geven me de integraal $i_L = \frac{1}{L} \int v_L \cdot dt$.

Je ziet dat al onze bewerkingen eenvoudige lineaire bewerkingen zijn geworden (het uitrekenen van de oppervlakte van een rechthoek en bijtellen met een eerder gevonden waarde).

Maar vooraleer we beginnen moeten we de “initiële condities” kennen. Dit is de toestand juist vooraleer de switch sluit. Dit is in vele toepassingen de moeilijkste opgave. Hiervoor zijn onmogelijk algemene regels te geven en hangen meestal af van de voorwaarden waarvoor het circuit moet dienen. Er is echter een uitzondering. Dikwijls zijn we niet geïnteresseerd in het moment dat de spanning wordt aangesloten, het moment bijvoorbeeld dat we de zendknop indrukken, maar wel hoe het circuit zich gedraagt enkele milliseconden later wanneer de overgangsverschijnselen voorbij zijn en het circuit, wat men noemt, zich in regime toestand bevindt. Wanneer er namelijk een repetitief gedrag in voorkomt, men een steeds wederkerend patroon in ontwaart dat zich herhaalt na een periode T , dan kan men een voorwaarde bij creëren namelijk dat de initiële conditie op tijdstip $t = nT$ gelijk moet zijn aan het tijdstip $t = (n + 1)T$ waarin T , de periode, een gekende waarde is bijvoorbeeld $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$.

10.4 Toegepaste oplossing op ons circuit

Passen we dit toe op ons schema zoals te zien is op **fig. 2**.

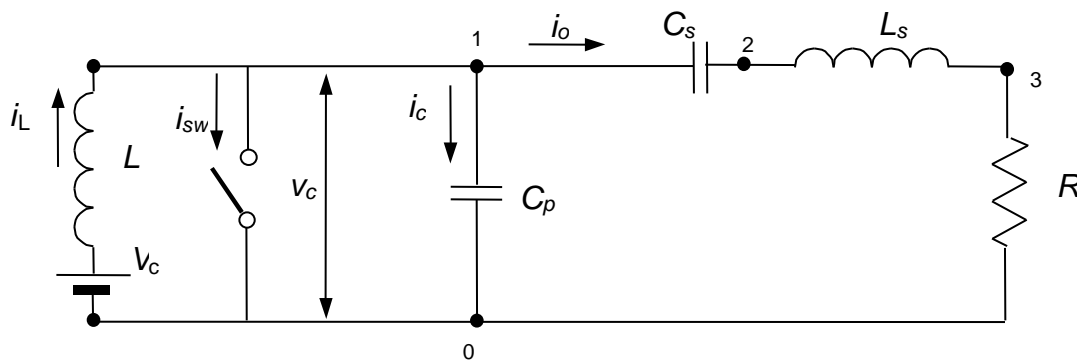


fig. 2

We kunnen al onze componenten afhankelijk maken van 3 parameters, namelijk q en p , en we kiezen als vrije parameter Q_L . En bepalen R_L in functie van q en de vooropgestelde waarden zoals vermogen en voedingsspanning, zoals hierboven reeds gedefinieerd..

Vermits het de bedoeling is alles uit te drukken in functie van q (en p) zijn we hiermee erin gelukt R_L vrij nauwkeurig uit te drukken in functie van vooropgestelde gegevens zoals V_{cc} en P en de te zoeken variabele parameter q

Ter herinnering we hadden reeds gezien dat
$$q = \frac{L\omega}{R_L} - \frac{L_r\omega}{R_L} = \frac{L\omega}{R_L} - \frac{1}{C_s\omega R_L} = Q_L - \frac{1}{C_s\omega R_L}$$

En natuurlijk

$L = \frac{Q_L \cdot R_L}{\omega} \quad (6.4.1)$
--

hieruit volgt ook dat

$$C_s = \frac{1}{(Q_L - q)\omega \cdot R_L} \quad (6.4.2)$$

En definiëren we $p = R_L \cdot \omega \cdot C_p$ en hieruit volgt natuurlijk dat

$$C_p = \frac{P}{R_L \cdot \omega} \quad (6.4.3)$$

Met deze 4 vergelijkingen kunnen we dus onze componenten bepalen uitsluitend in functie van p en q . Dan kunnen we, met Q_L vrij te kiezen en natuurlijk P , V_{cc} en $\omega = 2\pi \cdot f$ als gegeven elementen, met q en p alle mogelijke combinaties te maken het verloop van de stromen en spanningen nagaan totdat we een optimale waarde bereikt hebben.

Maar wat is die optimale waarde? Deze optimale waarde zouden we ook kunnen bekomen door te bedenken dat het gemiddelde van de stroom $i_{cgem} = I_{dc}$. Hierin is i_{cgem} het gemiddelde van de stroom I_c wanneer de switch open is plus het gemiddelde van de stroom door de switch wanneer de switch gesloten is.

en de gemiddelde spanning $V_{cgem} = V_{cc}$. Dat is de spanning over de capaciteit C_p

en wetende dat $i_{cgem} \cdot v_{cgem} = I_{dc} \cdot V_{cc} = P$.

Nu is een gemiddelde niets anders dan $i_{cgem} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_c$ evenzo is $v_{cgem} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_c$ en numeriek is dit

eenvoudig een optelsom wat met een eenvoudige trapeziumregel op te lossen is. (zie verder in deze paragraaf hoe een trapeziumregel werkt)

Bekijken we nog een keer onze definitie van R, L en C dan zien we dat

$$V_R = i \cdot R \text{ of ook } i = \frac{V_R}{R} \text{ en onafhankelijk is van de tijd.} \quad (6.4.4)$$

$$V_L = \frac{L \cdot di}{dt} \text{ ofwel } V_L \cdot dt = L \cdot di \text{ en hieruit leiden we af dat } di = \frac{V_L}{L} \quad (6.4.5)$$

Hierin is V_L de spanning over de inductantie.

En de totale stroom die door de Inductie stroomt is dan de som van de stroom die er voor doorstroomde plus de kleine vermeerdering di ,

$$\text{Of anders geschreven } i_{nu} = i_{vo} + di \quad (6.4.6)$$

$$V_C = \int \frac{1}{C} \cdot i \cdot dt \text{ ofwel door beide kanten te differentiëren } dV_C = \frac{i \cdot dt}{C} \quad (6.4.7)$$

Hierin is V_C de spanning over de capaciteit.

En de totale spanning die over de Capaciteit staat is dan de som van de spanning die er voor overstond plus de kleine vermeerdering dV_C .

$$\text{Of anders geschreven } V_{Cnu} = V_{Cvo} + dV_C \quad (6.4.8)$$

Met deze 5 eenvoudige formules kunnen we nu het gedrag (het verloop van de spanning en de stroom) in ieder element nagaan indien we de tijd telkenmale met een zeer kleine toename dt laten verderlopen. Wel moeten we om te kunnen beginnen de beginvoorwaarden kennen, dat wil zeggen de stroom en de spanning door dat element op het ogenblik dat we de tijd starten.

Laten we de tijd starten op het ogenblik dat de switch zich sluit.

Indien we **fig. 2** eens nader bekijken dan weten we (of wensen we) dat juist vooraleer de schakelaar sluit de stroom door de switch 0 moet zijn (opdat de switch geen stroom zou snijden) en dus moet $I_{dc} = -i_o$, De spanning over de belastingsweerstand is dan $V_3 = R_L \cdot I_{dc}$ ook is er vereist dat de spanning over C_p gelijk is aan 0 volt ofwel $V_1 = 0$. Maar hoe zit het met de spanning over V_{CS} of anders gezegd de spanning $(V_2 - V_1)$?

Hetgeen we met zekerheid weten is dat na een periode T dezelfde spanning zal staan over V_{CS} . Maar initieel zullen we toch een benaderende beginwaarde moeten invullen. Heeft men echt geen idee wat deze waarde zou kunnen zijn dan is de volgende redenering een vrij behoorlijke benadering, die men gerust als beginvoorwaarde kan invullen.

$$\text{Met de definitie van } V_c = \frac{1}{C} \int i \cdot dt = \frac{1}{C} \int I_o \cdot \sin((\omega t - \varphi) \cdot A1) \cdot dt$$

$$\text{Of wel } V_c = \frac{1}{C \cdot \omega \cdot A1} \cdot I_o \cdot (-\cos(\omega t - \varphi) A1) + Cst$$

$$\text{Nu is } \frac{1}{C \cdot \omega \cdot A1} = \frac{R_L}{C \cdot \omega \cdot A1 \cdot R_L} = Q_1 \cdot R_L = Q_L \cdot R_L \cdot \sqrt{1 - \frac{q}{Q_L}}$$

$$\text{Zodat } V_c = Q_L \cdot R_L \cdot \sqrt{1 - \frac{q}{Q_L}} \cdot I_o \cdot (-\cos(\omega t - \varphi) \sqrt{1 - \frac{q}{Q_L}}) + Cst$$

$$\text{Op 't ogenblik dat } \omega t = 0 \text{ is } I_o = \frac{I_{dc}}{\sin(\varphi \cdot A1)}$$

$$\text{Ook moet men zich realiseren dat } V_L = V_o \cdot Q_L = Q_L \cdot R_L \cdot \sqrt{1 - \frac{q}{Q_L}} \cdot I_o \text{ weliswaar } 90^\circ \text{ in fase verschoven}$$

$$\text{Zodoende wordt met } V_L - V_c = V_R. \text{ Of } V_c - V_L = -V_R \text{ en dus } Cst = -R_L \cdot I_{dc}$$

$$V_c = R_L \cdot I_{dc} \cdot \sqrt{1 - \frac{q}{Q_L}} \left[(Q_L \cdot \cot g(\varphi \cdot \sqrt{1 - \frac{q}{Q_L}}) - 1) \right]. \quad (6.4.9)$$

Maar, zoals reeds aangehaald, zijn al deze berekeningen wel nodig? Immers ik weet dat de spanning over V_c op het tijdstip $t = 0$ gelijk moet zijn aan V_c op het tijdstip $t = 2\pi$. Immers alles herhaald zich na een volledige periode, en alle overgangen moeten continu doorgaan. We schrijven deze voorwaarde in onze vergelijkingen als $V_c(0) = V_c(2\pi)$, en we vullen een willekeurig getal als beginvoorwaarde in.

Nu maken we met EXCEL een lijst van 360 stappen waarvan iedere stap of $dt = \frac{1}{f \cdot 360}$ met $f = 50\text{Mhz}$

En we berekenen iedere stap de volgende waarden uit;

$$dI_{dc} = (V_{CC} - V_1) \cdot dt \text{ en } I_{dc} = I_{dc} + dI_{dc} \quad i_{cp} = I_{dc} - i_o$$

$$dV_1 = \frac{dt(I_{dc} - i_o)}{C_p} \text{ noteer dat } V_1 = 0 \text{ voor } 0 < t < 180^\circ \text{ en } V_1 = V_1 + dV_1$$

$$dV_{CS} = \frac{i_o \cdot dt}{C_s} \text{ en } V_{CS} = V_{CS} + dV_{CS}$$

En hier vullen we voor V_{CS} een willekeurig getal in, maar we vullen wel als voorwaarde in dat $V_{CS}(0) = V_{CS}(2\pi)$. Hoe we dit doen wordt verder uitgelegd.

$$V_o = R_L \cdot i_o$$

Hier wordt verondersteld dat we R_L kennen. We vullen hier dan de hiervoor berekende waarde van R_L in die weliswaar nog niet exact gekend is, en afhankelijk is van q .

$$di_o = \frac{(V_1 - V_{CS} - V_o) \cdot dt}{L} \text{ en } i_o = i_o + di_o$$

dit herhalen we 360 maal, met de bemerking dat na 180 $V_1 \neq 0$ wordt omdat op dat ogenblik de switch opengaat.

Tegelijkertijd houden we ook het gemiddelde van de spanning V_1 bij, en zoals we weten moet het gemiddelde van de spanning over deze Capaciteit gelijk zijn aan de voedingsspanning.

$$\text{Dat doen we gewoon door een eenvoudige trapeziumregel } V_{cgem} = V_{cgem} + \frac{(V_{1nu} + V_{1vo})}{2} \cdot dt$$

Zo ook houden we het gemiddelde van de stroom bij en zoals we weten moet het gemiddelde van de stroom gelijk zijn aan de gelijkspanningsstroom geleverd door de voedingsspanning. Herinner dat voor

$$100^\circ \text{ rendement } I_{dc} \cdot V_{CC} = \frac{V_o \cdot I_o}{2}$$

$$\text{Ook hier doen we dit met de trapeziumregel zodat } I_{ogem} = I_{ogem} + \frac{(I_{onu} + I_{ovo})}{2} \cdot dt$$

EXCEL heeft een geweldig wapen om zoiets op te lossen, namelijk SOLVER. Indien dit nog niet in je toolbox te zien is kan men dit oproepen door in tools de option "add-in" SOLVER aan te klikken. Inderdaad ons doel ("target") is dat $P = V_{cc} \cdot I_{dc} = i_{ogem} \cdot V_{cgem}$. Dit doen we door p en q als veranderlijke waarden ("by changing cells") te beschouwen, en met als voorwaarden ("constraints") dat $i_o(t=0) = -I_{dc}$ maar ook dat na een hele periode de stroom terug is aan de begintoestand of $i_o(t=2\pi) = i_o(t=0)$.

Zo ook zal na een tijd $t = \pi$ wanneer de switch opengaat er een continuïteit bestaan.

Een andere voorwaarde is dat de spanning $V_c = 0$ op tijdstip $t = 2\pi$.

Vullen we al deze gegevens in en vragen we aan SOLVER lost dit op ("Solve") dat verschijnt het hieronder afgebeeld resultaat.

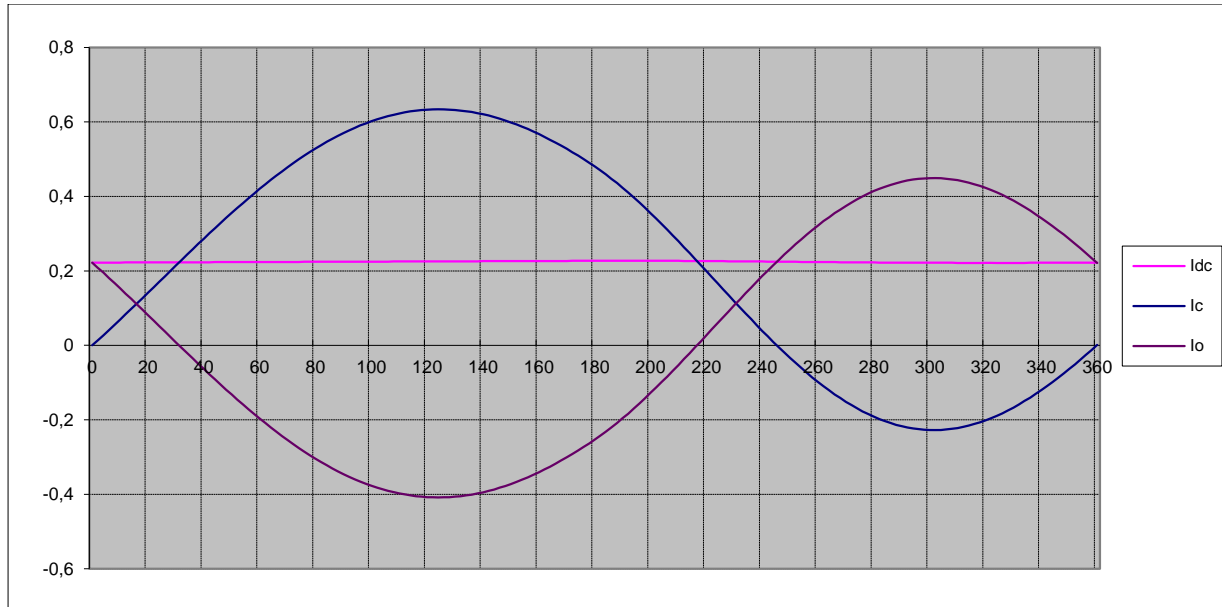


fig. 3

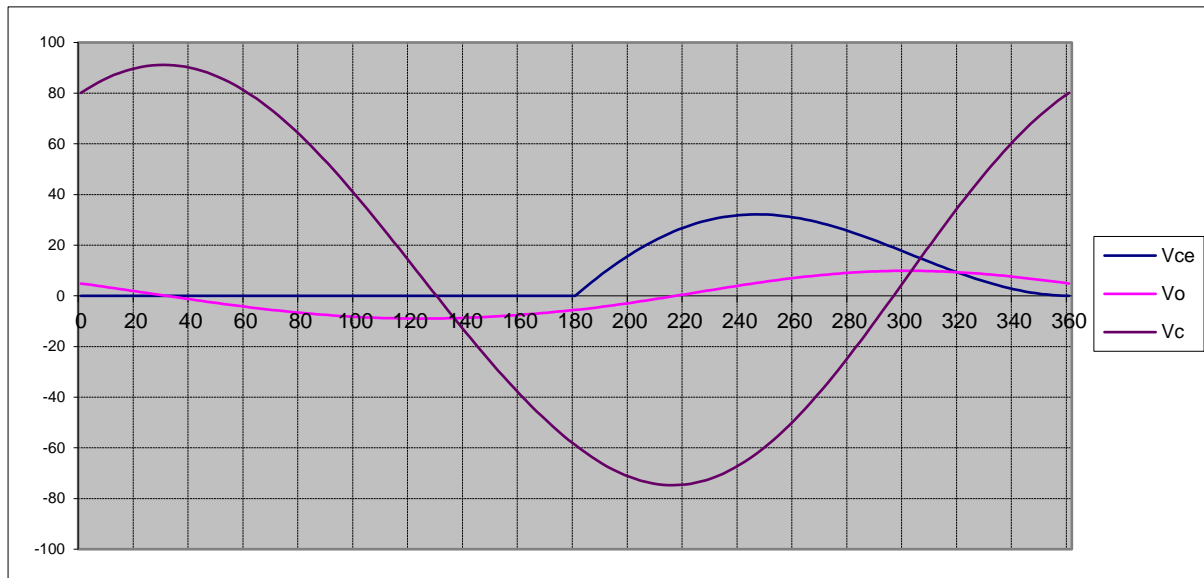


fig. 4

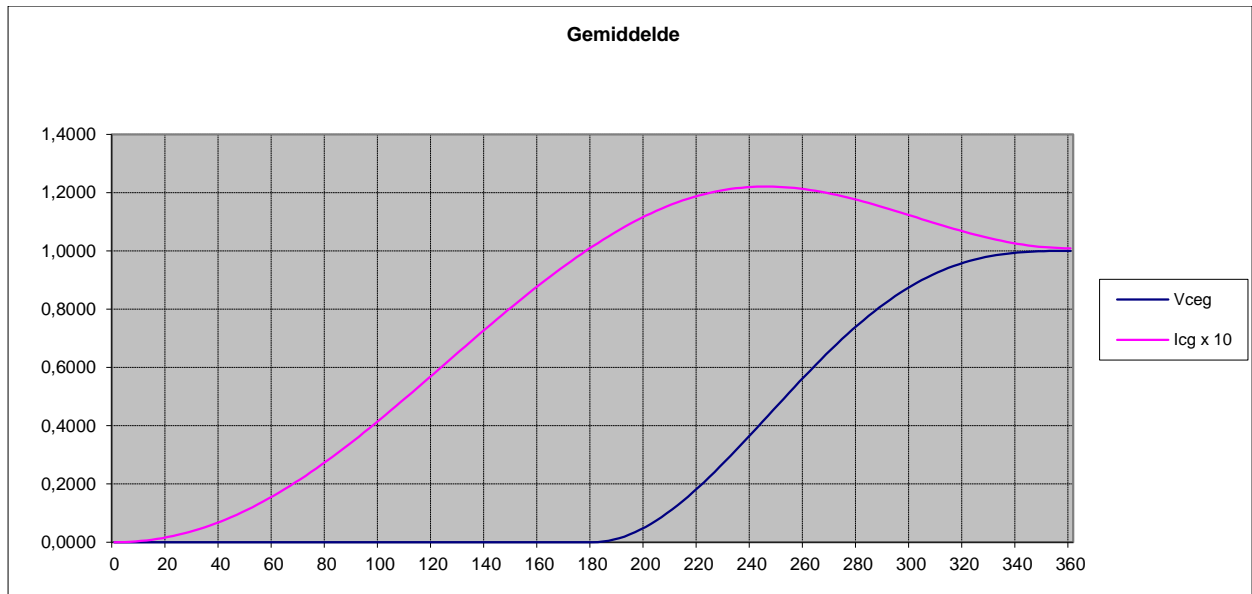


fig. 5

en de hiernavolgende lijst van berekeningen.

n	T	didc	idc	ic	dVce	Vce	dVc	Vc	Vo	dio	io	Vceg	lcg	P	2
0	0.00E+00	5.39E-05	0.22222222	0.0000	0.0000	0.0000	1.4971	80.0901	4.8849	-0.0008	0.2222	0.0000	0.0000	Vcc	9
2	2.22E-10	5.39E-05	2.22E-01	0.0135	0.0000	0.0000	1.4062	81.4963	4.5883	-0.0135	0.2087	0.0000	0.0002	Ql	10
4	4.44E-10	5.39E-05	2.22E-01	0.0273	0.0000	0.0000	1.3141	82.8104	4.2878	-0.0137	0.1951	0.0000	0.0007	f	5.00E+07
6	6.67E-10	5.39E-05	2.22E-01	0.0412	0.0000	0.0000	1.2209	84.0313	3.9837	-0.0138	0.1812	0.0000	0.0015	φ	
10	1.11E-09	5.39E-05	2.22E-01	0.0693	0.0000	0.0000	1.0317	86.1898	3.3664	-0.0141	0.1531	0.0000	0.0043	sin(φ)	0.5370287
12	1.33E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.0836	0.0000	0.0000	0.9359	87.1257	3.0538	-0.0142	0.1389	0.0000	0.0062	Idc	0.2222222
14	1.56E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.0980	0.0000	0.0000	0.8394	87.9652	2.7390	-0.0143	0.1246	0.0000	0.0085	Lc	1.85E-05
16	1.78E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.1125	0.0000	0.0000	0.7424	88.7076	2.4224	-0.0144	0.1102	0.0000	0.0111	Cp	2.93E-11
18	2.00E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.1270	0.0000	0.0000	0.6449	89.3525	2.1043	-0.0145	0.0957	0.0000	0.0141	C	1.65E-11
20	2.22E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.1416	0.0000	0.0000	0.5471	89.8996	1.7851	-0.0145	0.0812	0.0000	0.0175	Ro,f(C)	21.981971
22	2.44E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.1562	0.0000	0.0000	0.4490	90.3486	1.4650	-0.0146	0.0666	0.0000	0.0212	dt	1.11E-10
24	2.67E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.1708	0.0000	0.0000	0.3508	90.6993	1.1445	-0.0146	0.0521	0.0000	0.0253	Io	2.22E-01
26	2.89E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.1854	0.0000	0.0000	0.2525	90.9519	0.8239	-0.0146	0.0375	0.0000	0.0297	Vce	0
28	3.11E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.2001	0.0000	0.0000	0.1543	91.1062	0.5036	-0.0146	0.0229	0.0000	0.0345	Vc	80.090071
30	3.33E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.2147	0.0000	0.0000	0.0563	91.1625	0.1838	-0.0145	0.0084	0.0000	0.0397	L	7.00E-07
32	3.56E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.2292	0.0000	0.0000	-0.0414	91.1211	-0.1351	-0.0145	-0.0061	0.0000	0.0453	p	1.2201
34	3.78E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.2437	0.0000	0.0000	-0.1387	90.9824	-0.4527	-0.0144	-0.0206	0.0000	0.0512	q	0.20232
36	4.00E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.2582	0.0000	0.0000	-0.2356	90.7468	-0.7687	-0.0144	-0.0350	0.0000	0.0575	Ro	23.360389
38	4.22E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.2725	0.0000	0.0000	-0.3318	90.4150	-1.0828	-0.0143	-0.0493	0.0000	0.0641		
40	4.44E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.2867	0.0000	0.0000	-0.4274	89.9876	-1.3946	-0.0142	-0.0634	0.0000	0.0711		
42	4.67E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.3009	0.0000	0.0000	-0.5222	89.4654	-1.7038	-0.0141	-0.0775	0.0000	0.0784		
44	4.89E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.3149	0.0000	0.0000	-0.6161	88.8493	-2.0102	-0.0139	-0.0914	0.0000	0.0861		
46	5.11E-09	5.39E-05	2.23E-01	0.3287	0.0000	0.0000	-0.7090	88.1403	-2.3133	-0.0138	-0.1052	0.0000	0.0942		
48	5.33E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.3424	0.0000	0.0000	-0.8008	87.3396	-2.6129	-0.0136	-0.1189	0.0000	0.1026		
50	5.56E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.3559	0.0000	0.0000	-0.8914	86.4481	-2.9086	-0.0135	-0.1323	0.0000	0.1113		
52	5.78E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.3692	0.0000	0.0000	-0.9808	85.4673	-3.2003	-0.0133	-0.1456	0.0000	0.1203		
54	6.00E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.3823	0.0000	0.0000	-1.0688	84.3985	-3.4874	-0.0131	-0.1586	0.0000	0.1297		
56	6.22E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.3952	0.0000	0.0000	-1.1554	83.2431	-3.7699	-0.0128	-0.1715	0.0000	0.1395		
58	6.44E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4079	0.0000	0.0000	-1.2404	82.0027	-4.0473	-0.0126	-0.1841	0.0000	0.1495		0
60	6.67E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4203	0.0000	0.0000	-1.3238	80.6789	-4.3194	-0.0124	-0.1965	0.0000	0.1599		
62	6.89E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4325	0.0000	0.0000	-1.4055	79.2735	-4.5859	-0.0121	-0.2086	0.0000	0.1705		
64	7.11E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4444	0.0000	0.0000	-1.4854	77.7881	-4.8466	-0.0119	-0.2205	0.0000	0.1815		
66	7.33E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4561	0.0000	0.0000	-1.5634	76.2247	-5.1013	-0.0116	-0.2321	0.0000	0.1927		
68	7.56E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4674	0.0000	0.0000	-1.6395	74.5852	-5.3495	-0.0113	-0.2434	0.0000	0.2043		
70	7.78E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4785	0.0000	0.0000	-1.7136	72.8716	-5.5912	-0.0110	-0.2544	0.0000	0.2161		
72	8.00E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4892	0.0000	0.0000	-1.7856	71.0860	-5.8260	-0.0107	-0.2650	0.0000	0.2282		
74	8.22E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.4996	0.0000	0.0000	-1.8554	69.2307	-6.0538	-0.0104	-0.2754	0.0000	0.2406		
76	8.44E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.5097	0.0000	0.0000	-1.9230	67.3077	-6.2744	-0.0100	-0.2854	0.0000	0.2532		
78	8.67E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.5195	0.0000	0.0000	-1.9882	65.3195	-6.4874	-0.0097	-0.2951	0.0000	0.2660		
80	8.89E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.5288	0.0000	0.0000	-2.0512	63.2683	-6.6928	-0.0093	-0.3045	0.0000	0.2791		
82	9.11E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.5379	0.0000	0.0000	-2.1117	61.1566	-6.8903	-0.0090	-0.3135	0.0000	0.2925		
84	9.33E-09	5.39E-05	2.24E-01	0.5466	0.0000	0.0000	-2.1698	58.9868	-7.0797	-0.0086	-0.3221	0.0000	0.3060		
86	9.56E-09	5.39E-05	2.25E-01	0.5549	0.0000	0.0000	-2.2253	56.7615	-7.2609	-0.0082	-0.3303	0.0000	0.3198		
88	9.78E-09	5.39E-05	2.25E-01	0.5628	0.0000	0.0000	-2.2783	54.4832	-7.4337	-0.0079	-0.3382	0.0000	0.3338		
90	1.00E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.5703	0.0000	0.0000	-2.3286	52.1547	-7.5979	-0.0075	-0.3456	0.0000	0.3479		
92	1.02E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.5774	0.0000	0.0000	-2.3763	49.7784	-7.7534	-0.0071	-0.3527	0.0000	0.3623		
94	1.04E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.5841	0.0000	0.0000	-2.4212	47.3572	-7.9001	-0.0067	-0.3594	0.0000	0.3768		
96	1.07E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.5905	0.0000	0.0000	-2.4634	44.8938	-8.0379	-0.0063	-0.3657	0.0000	0.3915		
98	1.09E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.5964	0.0000	0.0000	-2.5029	42.3909	-8.1665	-0.0059	-0.3715	0.0000	0.4063		
100	1.11E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6019	0.0000	0.0000	-2.5395	39.8515	-8.2860	-0.0054	-0.3769	0.0000	0.4213		
102	1.13E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6069	0.0000	0.0000	-2.5732	37.2782	-8.3962	-0.0050	-0.3820	0.0000	0.4364		
104	1.16E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6116	0.0000	0.0000	-2.6041	34.6741	-8.4970	-0.0046	-0.3865	0.0000	0.4516		
106	1.18E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6158	0.0000	0.0000	-2.6321	32.0420	-8.5884	-0.0042	-0.3907	0.0000	0.4670		
108	1.20E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6196	0.0000	0.0000	-2.6572	29.3847	-8.6702	-0.0037	-0.3944	0.0000	0.4824		
110	1.22E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6229	0.0000	0.0000	-2.6794	26.7053	-8.7425	-0.0033	-0.3977	0.0000	0.4979		
112	1.24E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6258	0.0000	0.0000	-2.6986	24.0067	-8.8052	-0.0029	-0.4006	0.0000	0.5136		
114	1.27E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6283	0.0000	0.0000	-2.7149	21.2919	-8.8583	-0.0024	-0.4030	0.0000	0.5292		
116	1.29E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6303	0.0000	0.0000	-2.7282	18.5637	-8.9017	-0.0020	-0.4050	0.0000	0.5450		
118	1.31E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6319	0.0000	0.0000	-2.7385	15.8252	-8.9354	-0.0015	-0.4065	0.0000	0.5607		
120	1.33E-08	5.39E-05	2.25E-01	0.6330	0.0000	0.0000	-2.7459	13.0793	-8.9595	-0.0011	-0.4076	0.0000	0.5766		
122	1.36E-08	5.39E-05	2.26E-01	0.6337	0.0000	0.0000	-2.7503	10.3290	-8.9739	-0.0007	-0.4082	0.0000	0.5924		
124	1.38E-08	5.39E-05	2.26E-01	0.6340	0.0000	0.0000	-2.7517	7.5773	-8.9786	-0.0002	-0.4085	0.0000	0.6082		
126	1.40E-08	5.39E-05	2.26E-01	0.6338	0.0000	0.0000	-2.7502	4.8271	-8.9737	0.0002	-0.4082	0.0000	0.6241		
128	1.42E-08	5.39E-05	2.26E-01	0.6332	0.0000	0.0000	-2.7458	2.0813	-8.9592	0.0007	-0.4076	0.0000	0.6399		

286	3,18E-08	-8,96E-05	2,22E-01	-0,2088	-0,7729	23,1788	2,9045	-14,9579	9,4771	0,0050	0,4311	0,7915	1,1593
288	3,20E-08	-8,50E-05	2,22E-01	-0,2133	-0,7922	22,3865	2,9343	-12,0235	9,5744	0,0044	0,4356	0,8056	1,1541
290	3,22E-08	-8,02E-05	2,22E-01	-0,2172	-0,8093	21,5772	2,9600	-9,0635	9,6583	0,0038	0,4394	0,8192	1,1487
292	3,24E-08	-7,54E-05	2,22E-01	-0,2205	-0,8241	20,7531	2,9816	-6,0819	9,7286	0,0032	0,4426	0,8322	1,1432
294	3,27E-08	-7,04E-05	2,22E-01	-0,2231	-0,8365	19,9166	2,9990	-3,0829	9,7854	0,0026	0,4452	0,8448	1,1377
296	3,29E-08	-6,54E-05	2,22E-01	-0,2252	-0,8465	19,0700	3,0122	-0,0707	9,8286	0,0020	0,4471	0,8568	1,1321
298	3,31E-08	-6,03E-05	2,22E-01	-0,2266	-0,8542	18,2158	3,0213	2,9506	9,8581	0,0013	0,4485	0,8683	1,1264
300	3,33E-08	-5,52E-05	2,22E-01	-0,2274	-0,8595	17,3563	3,0262	5,9768	9,8740	0,0007	0,4492	0,8793	1,1207
302	3,36E-08	-5,01E-05	2,22E-01	-0,2275	-0,8625	16,4938	3,0268	9,0036	9,8762	0,0001	0,4493	0,8898	1,1150
304	3,38E-08	-4,49E-05	2,22E-01	-0,2270	-0,8630	15,6308	3,0234	12,0270	9,8649	-0,0005	0,4488	0,8997	1,1094
306	3,40E-08	-3,97E-05	2,22E-01	-0,2259	-0,8612	14,7696	3,0157	15,0427	9,8400	-0,0011	0,4476	0,9091	1,1037
308	3,42E-08	-3,46E-05	2,22E-01	-0,2242	-0,8570	13,9126	3,0040	18,0467	9,8017	-0,0017	0,4459	0,9179	1,0981
310	3,44E-08	-2,94E-05	2,22E-01	-0,2219	-0,8506	13,0620	2,9882	21,0349	9,7501	-0,0023	0,4436	0,9262	1,0925
312	3,47E-08	-2,43E-05	2,22E-01	-0,2190	-0,8417	12,2203	2,9683	24,0033	9,6853	-0,0029	0,4406	0,9340	1,0870
314	3,49E-08	-1,93E-05	2,22E-01	-0,2155	-0,8306	11,3896	2,9445	26,9477	9,6075	-0,0035	0,4371	0,9413	1,0816
316	3,51E-08	-1,43E-05	2,22E-01	-0,2114	-0,8173	10,5724	2,9167	29,8644	9,5168	-0,0041	0,4329	0,9481	1,0762
318	3,53E-08	-9,42E-06	2,22E-01	-0,2067	-0,8016	9,7707	2,8850	32,7494	9,4134	-0,0047	0,4282	0,9544	1,0710
320	3,56E-08	-4,62E-06	2,22E-01	-0,2014	-0,7838	8,9869	2,8495	35,5989	9,2976	-0,0053	0,4230	0,9602	1,0659
322	3,58E-08	7,85E-08	2,22E-01	-0,1956	-0,7639	8,2230	2,8103	38,4092	9,1696	-0,0058	0,4171	0,9655	1,0609
324	3,60E-08	4,66E-06	2,22E-01	-0,1892	-0,7417	7,4813	2,7674	41,1766	9,0296	-0,0064	0,4108	0,9703	1,0561
326	3,62E-08	9,10E-06	2,22E-01	-0,1823	-0,7176	6,7637	2,7209	43,8975	8,8780	-0,0069	0,4039	0,9747	1,0515
328	3,64E-08	1,34E-05	2,22E-01	-0,1749	-0,6913	6,0724	2,6709	46,5684	8,7150	-0,0074	0,3965	0,9787	1,0470
330	3,67E-08	1,75E-05	2,22E-01	-0,1669	-0,6632	5,4092	2,6176	49,1860	8,5409	-0,0079	0,3885	0,9822	1,0427
332	3,69E-08	2,15E-05	2,22E-01	-0,1585	-0,6330	4,7762	2,5609	51,7469	8,3560	-0,0084	0,3801	0,9854	1,0387
334	3,71E-08	2,53E-05	2,22E-01	-0,1496	-0,6011	4,1751	2,5011	54,2480	8,1608	-0,0089	0,3713	0,9881	1,0348
336	3,73E-08	2,89E-05	2,22E-01	-0,1402	-0,5673	3,6079	2,4382	56,6862	7,9556	-0,0093	0,3619	0,9905	1,0312
338	3,76E-08	3,23E-05	2,22E-01	-0,1304	-0,5317	3,0761	2,3723	59,0586	7,7407	-0,0098	0,3521	0,9926	1,0278
340	3,78E-08	3,55E-05	2,22E-01	-0,1202	-0,4945	2,5816	2,3036	61,3622	7,5165	-0,0102	0,3419	0,9944	1,0247
342	3,80E-08	3,85E-05	2,22E-01	-0,1096	-0,4557	2,1259	2,2322	63,5944	7,2835	-0,0106	0,3313	0,9958	1,0218
344	3,82E-08	4,12E-05	2,22E-01	-0,0985	-0,4153	1,7106	2,1582	65,7526	7,0420	-0,0110	0,3204	0,9970	1,0192
346	3,84E-08	4,37E-05	2,22E-01	-0,0871	-0,3735	1,3371	2,0818	67,8344	6,7926	-0,0113	0,3090	0,9979	1,0169
348	3,87E-08	4,59E-05	2,22E-01	-0,0754	-0,3303	1,0068	2,0030	69,8374	6,5356	-0,0117	0,2973	0,9987	1,0149
350	3,89E-08	4,79E-05	2,22E-01	-0,0633	-0,2858	0,7210	1,9221	71,7595	6,2716	-0,0120	0,2853	0,9992	1,0131
352	3,91E-08	4,96E-05	2,22E-01	-0,0510	-0,2400	0,4810	1,8391	73,5987	6,0009	-0,0123	0,2730	0,9996	1,0117
354	3,93E-08	5,10E-05	2,22E-01	-0,0383	-0,1931	0,2878	1,7543	75,3529	5,7240	-0,0126	0,2604	0,9998	1,0106
356	3,96E-08	5,22E-05	2,22E-01	-0,0254	-0,1452	0,1426	1,6677	77,0206	5,4415	-0,0129	0,2475	0,9999	1,0098
358	3,98E-08	5,31E-05	2,22E-01	-0,0123	-0,0962	0,0464	1,5795	78,6001	5,1538	-0,0131	0,2345	1,0000	1,0093
360	4,00E-08	5,37E-05	2,22E-01	0,0011	-0,0464	0,0000	1,4899	80,0901	4,8614	-0,0133	0,2212	1,0000	1,0092

FALSE

Table 1

fig. 3 stelt het verloop van de stromen voor, waarin $I_{dc} = \frac{P}{V_{cc}} = \frac{2W}{9V} = 0,222A$ een constante waarde heeft. I_c de stroom voorstelt ofwel door de switch, als de switch gesloten is maar zonder de I_{dc} of met andere woorden $I_c = I_s - I_{dc}$ of anders de stroom door de capaciteit C_p als de switch open is.

I_0 is dan de stroom door de belastingsweerstand R_L .

fig. 4 stelt het verloop van de spanningen voor waarin V_{ce} het spanningsverloop over de capaciteit C_p voorstelt, en V_c het verloop over de seriecacapaciteit C_s laat zien terwijl V_o de spanning over de belastingsweerstand weergeeft.

fig. 5 laat de integratie zien van de spanning en de stroom over de belastingsweerstand over een periode.

Men ziet dat SOLVER niet volledig een oplossing heeft kunnen vinden, immers $\frac{i_{ogem}}{I_{dc}} = 1,0082$ en is iets

meer dan 1. Dit is normaal omdat, zoals vroeger reeds aangehaald, 100% rendement niet haalbaar is.

Met de resultaten $R_L = 21.981971\Omega$ en $q = 1.2201$ en $p = 0.20232$ vinden we mits invullen van de

$$\text{formules } L = \frac{Q_L \cdot R_L}{\omega} = \frac{10 \times 21.981971}{2 \times \pi \times 50 \text{Mhz}} = 0.6997 \mu H$$

$$\text{En met } C_s = \frac{1}{(Q_L - q) \omega \cdot R_L} = \frac{1}{(10 - 1.2201) \times 2 \times \pi \times 50 \text{Mhz}} = 16,49 \text{pF}$$

$$\text{En zo ook } C_p = \frac{p}{R_L \cdot \omega} = \frac{0.20232}{21.981971 \times 2 \times \pi \times 50 \text{Mhz}} = 29.29 \text{pF}$$

Ditzelfde verhaal kan natuurlijk ook in een Visual Basic Programma gestopt worden en dit geeft dan natuurlijk dezelfde gewenste resultaten.

Jan Spaenjers