

Gemengde schakeling

WEGWIJZER

In leereenheden 4 en 5 bestudeerden we enkel de serieschakeling en de parallelschakeling van ideale componenten. Na elke leereenheid vestigden we de aandacht op enkele toepassingen die in de praktijk voorkomen en die onder te brengen zijn bij de behandelde samengestelde kringen.

Zoals je wellicht verwacht, zijn de meeste praktische toepassingen niet onder te brengen bij de serie- of bij de parallelschakeling. Het onderzoek van de meest voorkomende praktische schakeltoepassingen brengt ons meestal tot een combinatie van serie- en parallelschakeling, met andere woorden tot een gemengde schakeling. Aangezien de gemengde schakelingen in allerlei combinaties kunnen voorkomen, moeten we ons in deze leereenheid beperken tot de schakelingen die in de praktijk het meest voorkomen. In deze leereenheid zullen we enkele gemengde schakelingen als voorbeelden oplossen. De structurele manier van oplossen zal een systematiek opleveren die toegepast kan worden voor alle mogelijke schakelcombinaties.

Bij de gemengde schakeling zullen we speciaal aandacht schenken aan het complex oplossen van de onderscheiden samengestelde kringen. Het voordeel van de complexe rekenwijze bij het oplossen van ingewikkelde schakelingen zal in deze leereenheid dan ook erg duidelijk worden. Om efficiënt te werken heb je een geschikte tool nodig waarmee je complex kan rekenen, een rekenblad op de pc of een grafisch rekentoestel. Er zijn hier ongetwijfeld mogelijkheden om de leerstof elektriciteit en de leerstof wiskunde te combineren in een vorm van projectonderwijs.

In leereenheid 7 bestuderen we de betekenis van de verschillende vermogens en hun onderling verband in wisselstroomkringen.

6.1 Spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met condensator

Leerdoelen

Hierna kan je:

- het verband tussen een schakeling van een spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met een condensator en een praktische spoel in sterkstroomtoepassingen aantonen.
- toelichten waarom we een praktische spoel bij hogere frequenties moeten beschouwen als een spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met een condensator.
- uit het elektrisch schema van een spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met een condensator het vectorendiagram voor de bepaling van de bronstroom opstellen.
- uit het vectorendiagram de wiskundige formule voor de berekening van de stroomsterkte en de faseverschuiving van de bronstroom afleiden.
- uit het vectorendiagram de voorwaarde afleiden waaronder een gemengde schakeling als geheel zich inductief, ohms of capacitief gedraagt.
- in de beschouwde belastingskring de formule opstellen om de resonantiefrequentie te berekenen.
- de formule opstellen die de stroomsterkte bij parallelresonantie geeft.
- de formule voor de resonantiefrequentie en de impedantie bij resonantie aanpassen en interpreteren als de gelijkstroomweerstand verwaarloosbaar is.
- uit de stroomdriehoek de admittantiedriehoek afleiden.
- uit de admittantie de formule voor de berekening van de impedantie afleiden.
- de redenering opstellen om de beschouwde belastingskring, aangesloten op wisselspanning, met de complexe rekenwijze op te lossen.
- toelichten hoe een harmonisch gedempte trilling ontstaat bij het onderbreken van een kring waarin een spoel staat.

6.1.1 Inleiding

De spoel met gelijkstroomweerstand is een veel voorkomende schakeling in de sterkstroomtechniek. Een inductieve verbruiker (gewone tl-schakeling, eenfasige motor enz.) kunnen we altijd beschouwen als een RL-seriekring. In praktische sterkstroomtoepassingen willen we zoveel mogelijk de bronstroom in fase krijgen met de bronspanning. We willen m.a.w. de $\cos\varphi$ (arbeidsfactor) gelijk aan 1 krijgen. Om dit te bereiken schakelen we een aangepaste condensator parallel met de inductieve verbruiker.

Bij lage frequentie van de netspanning kunnen we de gelijkstroomweerstand R van een praktische spoel meestal niet verwaarlozen tegenover de inductantie X_L .

De windingen van een spoel liggen over een oppervlakte A en op een kleine afstand d van elkaar geïsoleerd door een tussenstof met dielektrische constante ε , zodat elke spoel een eigen capaciteit $C = \frac{\varepsilon \cdot A}{d}$ heeft.

Als we een gelijkspanning of een wisselspanning met **lage frequentie** aansluiten aan de klemmen van de spoel, vormt de eigencapaciteit van de spoel een **open kring** ($X_C \approx \infty$).

Als we een wisselspanning met hogere frequentie aansluiten aan de klemmen van de spoel kunnen we de capacitantie van de spoel niet meer verwaarlozen tegenover de impedantie van de RL-seriekring. Bij **hogere frequenties** moeten we een praktische spoel beschouwen als een **spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met een condensator**.

6.1.2 Berekening van de bronstroom

In figuur 6.1 geven we het elektrisch schema van een spoel met gelijkstroomweerstand waarmee een condensator parallel geschakeld is. In figuur 6.2 construeren we het vectorendiagram van de schakeling. De schakeling kunnen we beschouwen als een parallelschakeling van twee takken. De aangelegde spanning staat over elke tak. In het vectorendiagram tekenen we de spanning in de referentiestand.

De eerste tak is een RL-seriekring met impedantie $Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

De stroomsterkte van de stroom door de eerste tak is: $I_1 = \frac{U}{Z_1}$

De stroom door de eerste tak ijlt over een hoek φ_1 na op de aangelegde spanning.

$$\tan \varphi_1 = \frac{X_L}{R} \Rightarrow \varphi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{X_L}{R} \right)$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{X_L}{Z} \Rightarrow \varphi_1 = \sin^{-1} \left(\frac{X_L}{Z} \right)$$

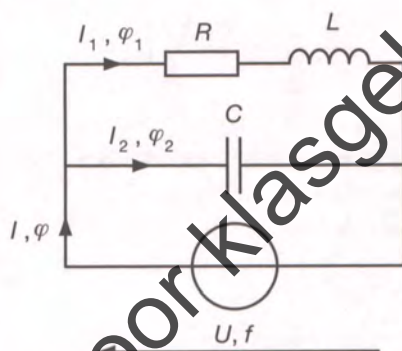


Fig. 6.1 Elektrisch schema van een spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met een condensator

De tweede tak is een zuiver capacatieve kring met impedantie $Z_2 = X_c$

De stroomsterkte van de stroom door de tweede tak is: $I_2 = \frac{U}{X_c}$

De stroom door de tweede tak ijlt 90° voor op de aangelegde spanning.

$$\varphi_2 = -90^\circ$$

Als we de stroomwet van Kirchhoff toepassen in een knooppunt van de schakeling, stellen we vast dat de bronstroom I de vectoriële som van de twee takstromen is:

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2$$

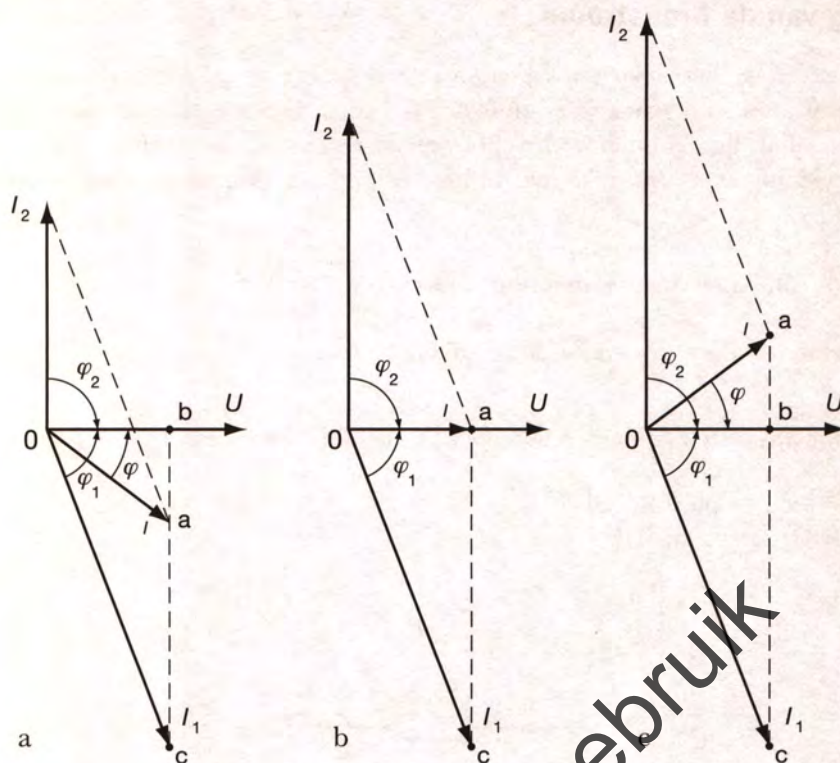


Fig. 6.2 Vectorendiagrammen van een spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met een condensator

We berekenen de stroomsterkte I met de cosinusregel.

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_1 + 90^\circ)}$$

De faseverschuivingshoek φ bepalen we aan de hand tangens in de rechthoekige driehoek oba in het vectorendiagram van figuur 6.2a:

$$\tan \varphi = \frac{|ab|}{|ob|} = \frac{|bc| - |ac|}{|ob|} = \frac{I_1 \sin \varphi_1 - I_2}{I_1 \cos \varphi_1} \Rightarrow \varphi$$

De impedantie van de gemengde kring wordt dan: $Z = \frac{U}{I}$

6.1.3 Mogelijke belastingsgevallen

In het vectorendiagram van figuur 6.2a is de lengte van het lijnstuk $[bc]$, $|bc| = I_1 \cdot \sin \varphi_1$ groter dan de lengte van het lijnstuk $[ac]$, $|ac| = I_2$. De tangens van de faseverschuivingshoek is dan positief, zodat de faseverschuivingshoek φ ook positief is. De bronstroom ijlt na op de aangelegde spanning, zodat de gemengde kring als geheel zich inductief gedraagt.

In het vectorendiagram van figuur 6.2b is het lijnstuk $[ac]$ even lang als het lijnstuk $[bc]$ in figuur 6.2a. De tangens van de faseverschuivingshoek is dan nul, zodat de faseverschuivingshoek φ ook nul is. De bronstroom is in fase met de aangelegde spanning, zodat de gemengde kring als geheel zich ohms gedraagt. We zeggen: de gemengde kring is in resonantie.

In het vectorendiagram van figuur 6.2c is het lijnstuk $[bc]$ korter dan het lijnstuk $[ac]$. De tangens van de faseverschuivingshoek is dan negatief, zodat de faseverschuivingshoek φ ook negatief is. De bronstroom ijlt voor op de aangelegde spanning, zodat de gemengde kring als geheel zich capacitief gedraagt.

6.1.4 Parallelresonantie

a Frequentie om parallelresonantie te verkrijgen

Wegens het praktische nut van deze belastingscombinatie gaan we er even verder op in. We bepalen het verband tussen de grootheden als de kring in resonantie is.

In de vorige paragraaf toonden we aan dat de kring in resonantie is als:

$$I_1 \cdot \sin \varphi_1 = I_2 \text{ of } \frac{U}{Z_1} \cdot \frac{X_L}{Z_1} = \frac{U}{X_C} \text{ of } \frac{X_L}{Z_1^2} = \frac{1}{X_C} \text{ of } \frac{\omega \cdot L}{Z_1^2} = \omega \cdot C \text{ of } Z_1^2 = \frac{L}{C}$$

Uit de laatste gelijkheid bepalen we de resonantiefrequentie:

$$R^2 + (\omega_r L)^2 = \frac{L}{C}$$

$$R^2 \cdot C + \omega_r^2 \cdot L^2 \cdot C = L$$

$$\omega_r^2 = \frac{L - R^2 \cdot C}{L^2 \cdot C} = \frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{L^2}$$

$$2 \cdot \pi \cdot f_r = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{L^2}}$$

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{L^2}}$$

b Stroomsterkte bij parallelresonantie

Uit het vectorendiagram van figuur 6.2b volgt: $I = I_1 \cdot \cos \varphi_1$

$$\text{met } I_1 = \frac{U}{Z_1} \text{ en } \cos \varphi_1 = \frac{R}{Z_1}$$

$$\text{wordt } I = \frac{U}{Z_1} \cdot \frac{R}{Z_1} = U \cdot R \cdot \frac{1}{Z_1^2}$$

$$\text{Aangezien bij resonantie } Z_1^2 = \frac{L}{C}$$

$$\text{wordt } I_r = \frac{U \cdot R \cdot C}{L}$$

c Totale impedantie bij resonantie

$$Z_r = \frac{U}{I_r} = \frac{U}{\frac{U \cdot R \cdot C}{L}} = \frac{L}{R \cdot C}$$

d Bijzonder geval $R = 0$

Als de gelijkstroomweerstand te verwaarlozen is, herleidt de kring zich tot de parallelschakeling van de ideale componenten L en C .

$$\text{De resonantiefrequentie } f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{L^2}} \text{ wordt dan } f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

De impedantie bij resonantie $Z_r = \frac{L}{R.C}$ wordt dan oneindig groot (sperkring).

We moeten hier ook opmerken dat als $R \neq 0$ de stroomsterkte bij de resonantiefrequentie niet minimaal is. De frequentie waarbij de stroomsterkte minimaal is, verschilt meer van de resonantiefrequentie naarmate de gelijkstroomweerstand groter is.

6.1.5 Admittantiedriehoek

Als we in het vectorendiagram van figuur 6.2a elke zijde van de stroomdriehoek oac delen door de waarde van de aangelegde spanning bekomen we de admittantiedriehoek van figuur 6.3.

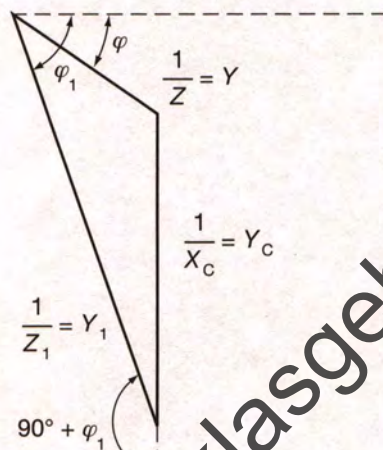


Fig. 6.3 Admittantiedriehoek van een spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met een condensator

$$Y^2 = Y_1^2 + Y_C^2 - 2.Y_1.Y_C.\cos(90^\circ - \varphi_1)$$

De cosinus van de supplementaire hoek $90^\circ + \varphi_1$ is tegengesteld aan de cosinus van $90^\circ - \varphi_1$.

$$Y^2 = Y_1^2 + Y_C^2 + 2.Y_1.Y_C.\cos(90^\circ + \varphi_1)$$

$$Y = \sqrt{Y_1^2 + Y_C^2 + 2.Y_1.Y_C.\cos(90^\circ + \varphi_1)}$$

$$Z = \frac{1}{Y}$$

6.1.6 Complexe uitdrukkingen

In een **seriekring op wisselspanning** is de complexe uitdrukking van de **impedantie** de som van de complexe uitdrukking van de deelimpedanties.

$$\bar{Z}_1 = R + j.X_L$$

In een **parallelkring op wisselspanning** is de complexe uitdrukking van de **admittantie** de som van de complexe uitdrukking van de takadmittanties.

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{R + j.X_L} \quad \text{en} \quad \bar{Y}_2 = \frac{1}{-j.X_C}$$

$$\bar{Y} = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{\bar{Y}}$$

In voorbeeld 1 van paragraaf 6.6 vergelijken we de analytische en de complexe oplossing van een parallelcompensatie van een gewone tl-schakeling.

Toelichting

Praktisch gebruik van de cosinusregel

We gebruiken de cosinusregel meestal om de lengte van de resultante van twee componenten te bepalen. In de willekeurige driehoek abc in figuur 6.4 schrijven we de cosinusregel meestal onder de vorm:

$$C^2 = A^2 + B^2 - 2.A.B.\cos\gamma$$

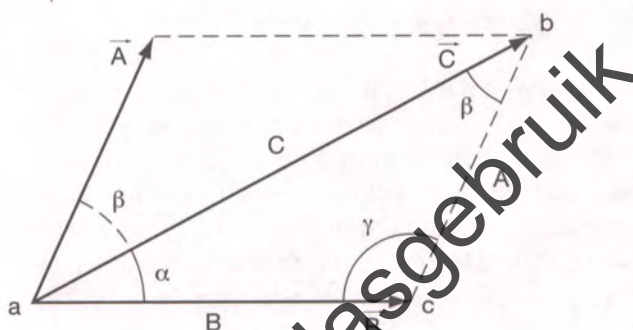


Fig. 6.4 Cosinusregel

De som van de hoeken van een driehoek is gelijk aan 180° .

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ \Rightarrow \gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta)$$

γ en $\alpha + \beta$ zijn supplementaire hoeken.

De cosinus van de supplementaire hoek is het tegengestelde van de cosinus van de hoek

$$\cos \gamma = -\cos(\alpha + \beta)$$

De cosinusregel passen we dan ook meestal toe in de vorm:

$$C^2 = A^2 + B^2 + 2.A.B.\cos(\alpha + \beta)$$

waarin A de lengte van de ene component
B de lengte van de andere component
C de lengte van de resultante
 $\alpha + \beta$ de ingesloten hoek tussen de twee componenten.

6.1.7 Onderbreken van een kring waarin een spoel staat

In de schakeling van figuur 6.5 is een spoel door middel van een schakelaar S aangesloten op een gelijkspanningsbron. De condensator die parallel op de spoel aangesloten is, is de eigencapaciteit van de spoel of de vervangingscapaciteit van de eigencapaciteit van de spoel en de capaciteit van een bijkomende parallel geschakelde condensator. Als de schakelaar een tijdje gesloten is, is de

condensator opgeladen, heeft de spoel energie opgeslagen in haar kern en vloeit er door de spoel een gelijkstroom waarvan de stroomsterkte bepaald wordt door de aangelegde spanning en de waarde van de gelijkstroomweerstand.

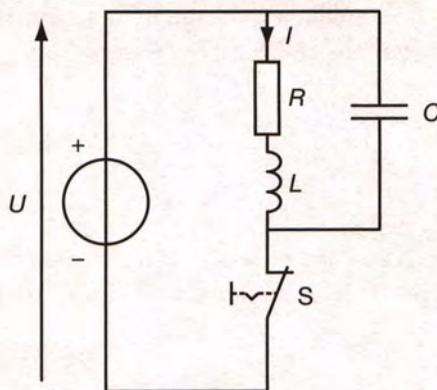


Fig. 6.5 Onderbreken van een kring waarin een spoel staat

Als we de schakelaar openen werkt de spoel als spanningsbron en stuurt ze de stroom verder door de condensator, zodat er over de condensator een spanning ontstaat met een polariteit tegengesteld aan de polariteit van de gelijkspanningsbron en een waarde die ongeveer gelijk is aan $I \cdot X_C$ (die vele malen groter kan zijn dan de spanning van de gelijkspanningsbron). M.a.w. de opgehoopte magnetische veldenergie van de spoel wordt opgenomen in de vorm van elektrostatische veldenergie in de condensator. Daarna zal de condensator de opgeslagen energie teruggeven aan de spoel en trilt de kring op zijn eigen resonantiefrequentie.

$$f_r = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Telkens als er stroom vloeit door de weerstand, wordt een deel van de energie door het joule-effect omgezet in warmte. De spanning over de kring is een gedempte harmonische trilling die voldoet aan de vergelijking:

$$u = -U_{m0} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \cdot \cos(\omega_r \cdot t)$$

Figuur 6.6 geeft een mogelijk verloop van de spanning over de kring vanaf het ogenblik dat de schakelaar S in figuur 6.5 geopend wordt.

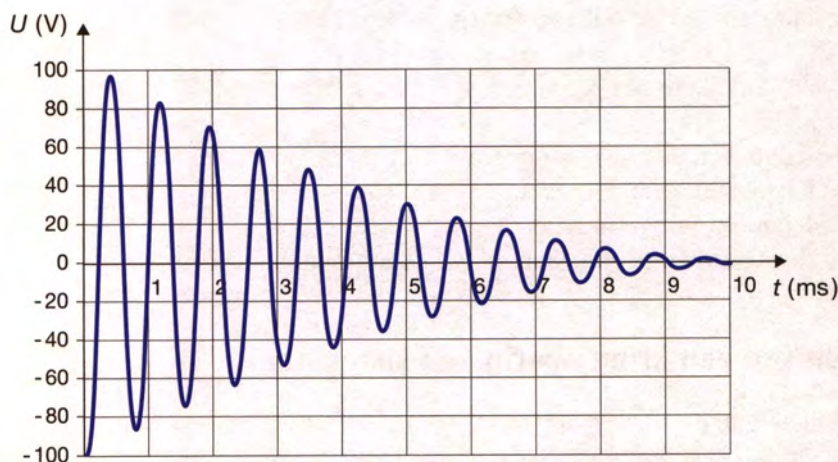


Fig. 6.6 Spanning-tijd-diagram van een gedempte harmonische trilling



In het labboek vind je mogelijke opdrachten en demonstraties rond het bepalen van de eigencapaciteit van een spoel en het vectorendiagram van de TL -schakeling met parallelcompensatie.

6.2 De RLC-seriekring in combinatie met de RLC-parallelkring

Leerdoel

Hierna kan je:

- verklaren hoe een banddoorlaatfilter ontstaat bij gepaste schakeling van een RLC-seriekring in combinatie met een RLC-parallelkring.

Hoewel de formules van de RLC-serieresonantiekring wel enigszins lijken op die van de RLC-parallelresonantiekring, zijn hun praktische toepassingsgebieden aan elkaar tegengesteld. Terwijl een RLC-seriekring een goede geleider is voor de stromen waarvan de frequentie gelijk is aan de resonantiefrequentie, zal de RLC-parallelresonantiekring die stromen sperren. Als de twee kringen geschakeld worden zoals voorgesteld in figuur 6.7 ontstaat een banddoorlaatfilter.

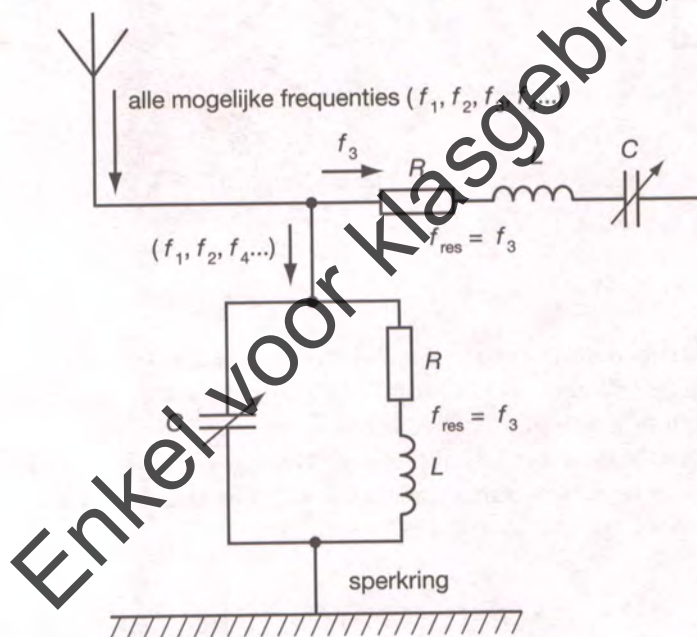


Fig. 6.7 Antenne-ingangskring

Alleen de gewenste frequentie komt op de ingangsimpedantie van het toestel, terwijl de niet-gewenste frequenties afgeleid worden. De resonantiekringen vormen samen met de ingangsimpedantie van het toestel een gemengde schakeling.

6.3 Kristallen

Leerdoelen

Hierna kan je:

- het schemasympbool van (kwarts-)kristal tekenen.
- het elektrisch vervangingsschema van een kristal tekenen.
- de resonantiefrequenties van een kristal berekenen uit de waarden van de componenten van het elektrisch vervangingsschema.
- toelichten waarom we een kristal meestal bij de serieresonantie instellen.

In hoogfrequente, elektronische schakelingen gebruiken we meestal een kristal als frequentiebepalend element. Een kristal is meestal gemaakt uit kwarts, zodat het ook kwartskristal genoemd wordt. Figuur 6.8 stelt het schemasympbool van een kristal voor.



Fig. 6.8 Schemasympbool van een kristal

Het kristal is geen elektrische maar een mechanische resonator. Door het piëzo-elektrische effect veroorzaken mechanische trillingen in het kristal een spanning aan de klemmen van het kristal. Als we een wisselspanning aansluiten op het kristal ontstaan er mechanische trillingen in het kristal die een stroomsterkte door het kristal toelaten. De impedantie van het kristal is heel sterk afhankelijk van de frequentie van de aangelegde spanning. Figuur 6.9 stelt het elektrisch vervangingsschema van een kristal voor.

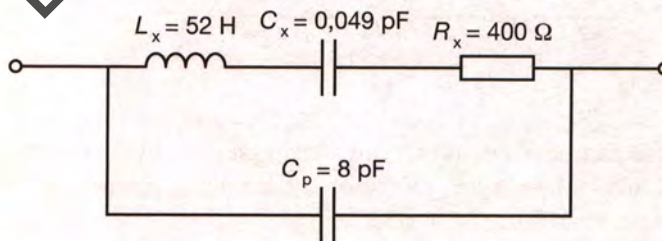


Fig. 6.9 Elektrisch vervangingsschema van een 100 kHz-kristal

Het kristal heeft een serieresonantiefrequentie die bepaald wordt door die inductiecoëfficiënt L_x en de capaciteit van de condensator C_x :

$$f_{rs} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_x \cdot C_x}} \text{ (Hz)}$$

Het serieresonantiegedrag van een kristal stellen we voor in figuur 6.10.

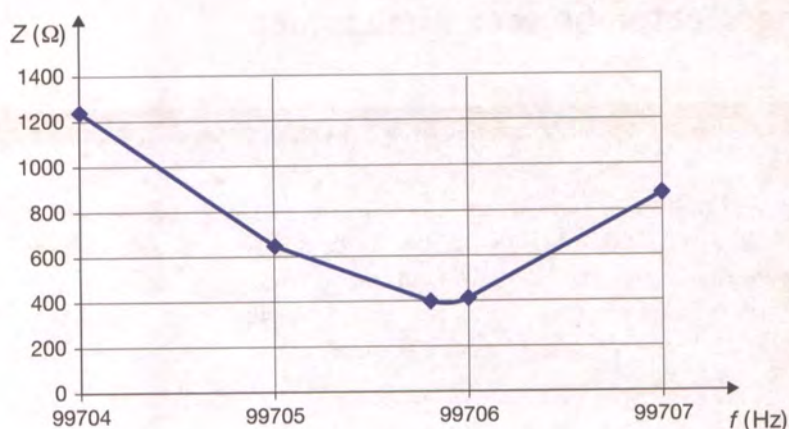


Fig. 6.10 Impedantie-frequentie-karakteristiek van een kristal nabij de serieresonantiefrequentie

Het kristal (figuur 6.9) heeft ook een parallelresonantiefrequentie die bepaald wordt door de inductiecoëfficiënt en de vervangingscapaciteit van de twee condensatoren.

$$f_{rp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_x \cdot C_v}} \text{ (Hz)}$$

Bij resonantie wordt er energie uitgewisseld tussen de spoel en de condensatoren. Bij de resonantie moeten we dan ook de condensatoren als een serieschakeling beschouwen, zodat:

$$C_v = \frac{C_x \cdot C_p}{C_x + C_p}$$

De vervangingscapaciteit is altijd kleiner dan C_x , zodat de parallelresonantiefrequentie altijd hoger is dan de serieresonantiefrequentie. Praktisch ligt de parallelresonantiefrequentie relatief dicht bij de serieresonantiefrequentie. Het parallelresonantiegedrag van een kristal stellen we voor in figuur 6.11.

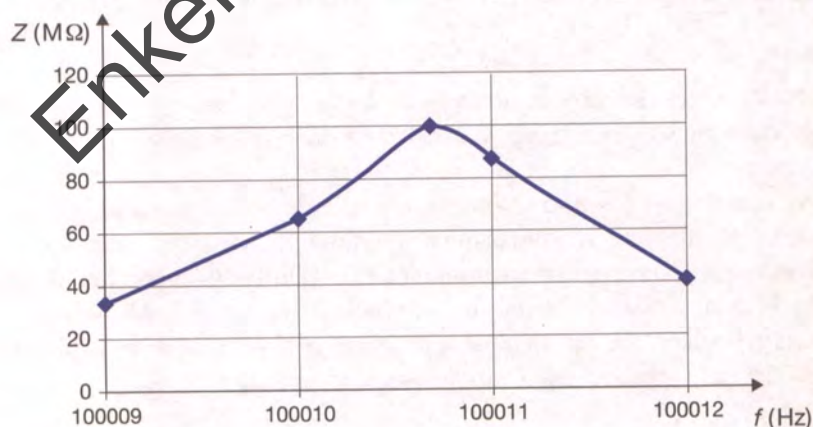


Fig. 6.11 Impedantie-frequentie-karakteristiek van een kristal nabij de parallelresonantiefrequentie

De twee resonantiefrequenties van een kristal zijn uiterst nauwkeurig en uiterst stabiel. De capaciteit van de aansluitdraden beïnvloedt de parallelcapaciteit en de parallelresonantiefrequentie. Het kristal stellen we daarom meestal ook in bij de serieresonantiefrequentie.

In voorbeeld 2 van paragraaf 6.6 berekenen we een aantal grootheden van een kristal met een excelrekenblad.

6.4 Verzwakkingsmeetprobe voor oscilloscoop

Leerdoelen

Hierna kan je:

- toelichten waarom we een verzwakkingsmeetprobe gebruiken bij oscilloscoopmetingen.
- de verhouding tussen de weerstandswaarde van de ingangsweerstand van de oscilloscoop en de weerstandswaarde van de verzwakkingsmeetprobe berekenen.
- de verhouding tussen de ingangscapaciteit van de oscilloscoop en de capaciteit van de condensator van de verzwakkingsmeetprobe berekenen.
- toelichten hoe een verzwakkingsmeetprobe gekalibreerd wordt.

Naast een ingangsweerstand R_{in} heeft elke oscilloscoop ook een ingangscapaciteit C_{in} .

Figuur 6.12 stelt een spanningsmeting voor met een meetprobe 1:1 (zonder verzwakking) of met meetsnoeren met bananenstekkers.

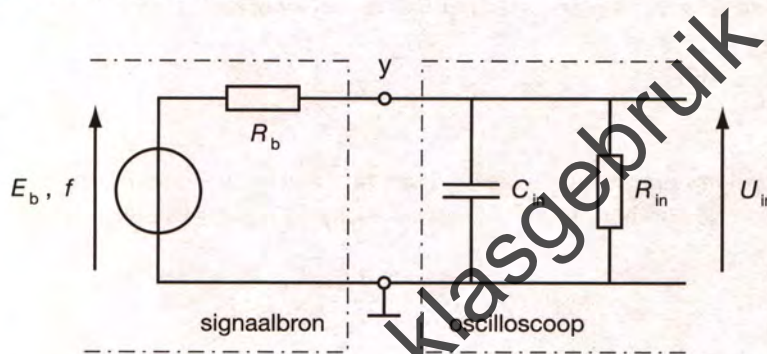


Fig. 6.12 Invloed van de ingangscapaciteit van een oscilloscoop

Bij gelijkspanning kunnen we de bronweerstand R_b verwaarlozen tegenover de ingangsweerstand van de oscilloscoop R_{in} en vormt de ingangscapaciteit C_{in} van de oscilloscoop een open kring. Het te meten signaal van de bron komt onverzwakt over de ingangsweerstand van de oscilloscoop: $U_{in} = E_b$.

Bij hoge frequenties wordt de capacitantie van de ingangscapaciteit vrij klein en de impedantie van de parallelschakeling van de ingangsweerstand en de ingangscapaciteit neemt gevoelig af.

De ingangskring van de oscilloscoop vormt samen met de bronweerstand een frequentieafhankelijke spanningsdeler. Als we een blokvormige spanning (die de som is van een oneindige reeks sinusvormige spanningen) onverzwakt meten met een oscilloscoop, zal op het beeld een vervormde blok golf verschijnen, omdat de hogere harmonischen van de blok golf verzwakt worden. Om dit te vermijden, gebruiken we bij oscilloscoopmetingen altijd een verzwakkingsmeetprobe die aangepast is aan de ingangsgrootheden van de oscilloscoop.

Figuur 6.13 stelt een oscilloscoopmeting voor met een verzwakkingsmeetprobe.

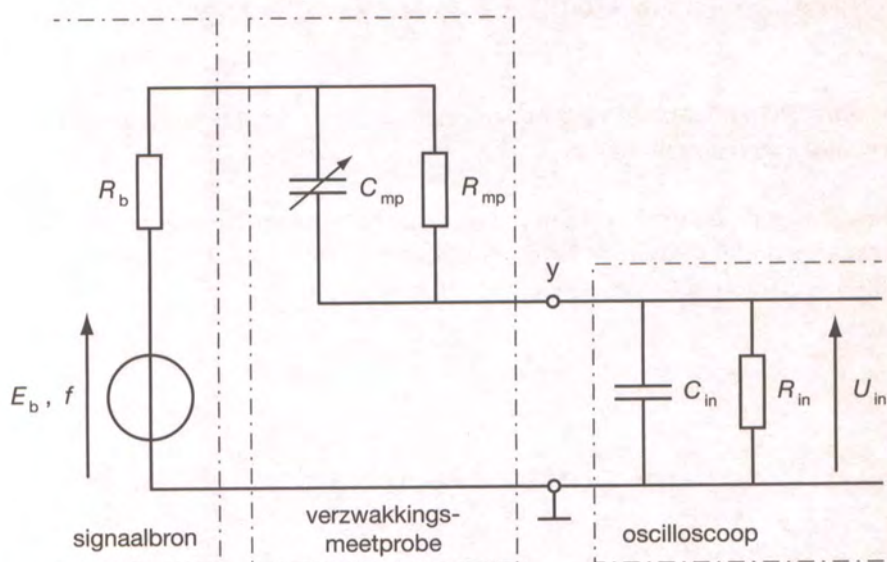


Fig. 6.13 Oscilloscoopmeting met verzwakkingsmeetprobe

Als we de weerstandswaarde van de bronweerstand verwaarlozen kunnen we de schakeling van figuur 6.13 vereenvoudigd voorstellen door de schakeling van figuur 6.14.

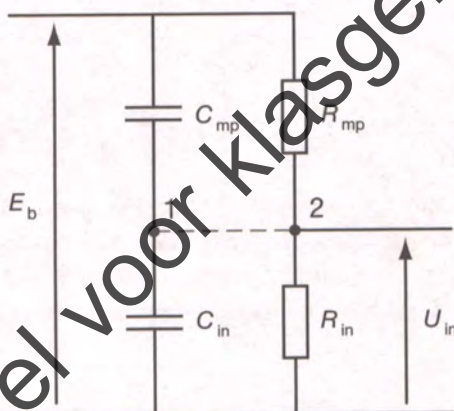


Fig. 6.14 Vereenvoudigd schema van figuur 6.13

We beschouwen in figuur 6.14 de verbinding tussen de punten 1 en 2 als niet gemaakt. De verzwakking van de meetprobe noemen we A (afkomstig van het Engelse attenuation). De verzwakking van de bronspanning door de serieschakeling van de weerstanden is dan:

$$A = \frac{U_{in}}{E_b}$$

$$U_{in} = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{mp}} \cdot E_b$$

$$A = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{mp}}$$

De bovenstaande formule kunnen we omvormen om de weerstandswaarde van de weerstand van de meetprobe te berekenen.

$$R_{mp} = \left[\frac{1}{A} - 1 \right] \cdot R_{in}$$

Voor een verzwakkingsmeetprobe 10:1 is $A = \frac{1}{10} = 0,1$ en $R_{mp} = 9 \times R_{in}$.

De gelijkstroomweerstand van de verzwakkingsmeetprobe moet dus altijd aangepast zijn aan de ingangsweerstand van de oscilloscoop.

De verbinding tussen de punten 1 en 2 in figuur 6.13 is een potentiaalvrije verbinding als de serieschakeling van de condensatoren de bronspanning evenveel verzwakt als de serieschakeling van de gelijkstroomweerstand.

$$A = \frac{X_{C_{in}}}{X_{C_{in}} + X_{C_{mp}}}$$

zodat

$$X_{C_{mp}} = \left[\frac{1}{A} - 1 \right] \cdot X_{C_{in}}$$

$$\frac{1}{\omega \cdot C_{mp}} = \left[\frac{1}{A} - 1 \right] \cdot \frac{1}{\omega \cdot C_{in}}$$

$$C_{mp} = \frac{C_{in}}{\left[\frac{1}{A} - 1 \right]} = \frac{C_{in}}{\left[\frac{1-A}{A} \right]} = \left[\frac{A}{1-A} \right] \cdot C_{in}$$

Voor een verzwakkingsmeetprobe 10:1 is $A = \frac{1}{10} = 0,1$ en $C_{mp} = \frac{1}{9} \times C_{in} = 0,111 \dots \times C_{in}$.

De capaciteit van de condensator van de verzwakkingsmeetprobe moet dus altijd aangepast zijn aan de ingangscapaciteit van de oscilloscoop. De condensator van een verzwakkingsmeetprobe is altijd regelbaar uitgevoerd om de verhouding tot de ingangscapaciteit exact te kunnen instellen. Om de meetprobe af te regelen is elke oscilloscoop voorzien van een probekalibreringsmeetpunt (figuur 6.15).

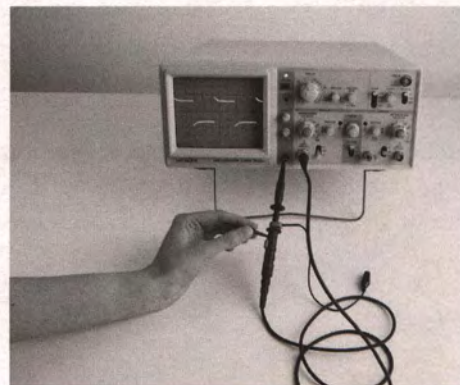
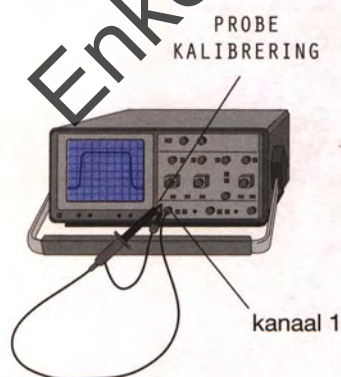


Fig. 6.15 Probekalibreringsmeetpunt van een oscilloscoop

We sluiten het warme punt van de meetprobe aan op het kalibreringsmeetpunt en we regelen de regelschroef van de meetprobe tot we op het scherm een perfecte blokvormige gelijkspanning zien (figuur 6.16a). De meetprobe is perfect gecompenseerd, ze is een gecompenseerde verzwakker. Dat is een verzwakker die alle frequenties binnen het frequentiebereik evenveel verzwakt.

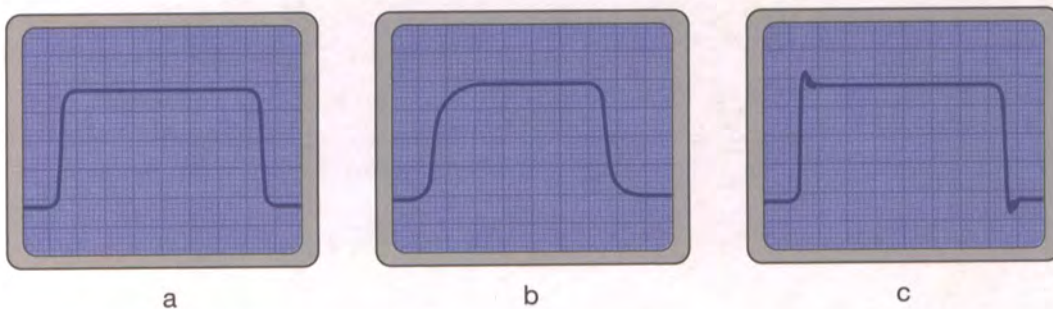


Fig. 6.16 Kalibrering van een verzwakkingsmeetprobe

Als de capaciteit van de condensator van de meetprobe te laag afgeregeld is, worden de hoge frequenties te veel verzwakt, zodat de probe zich gedraagt als een laagdoorlaatfilter of integrator (figuur 6.16b).

Als de capaciteit van de condensator van de meetprobe te hoog afgeregeld is, worden de hoge frequenties te weinig verzwakt, zodat de probe zich gedraagt als een hoogdoorlaatfilter of differentiator (figuur 6.16c).



In het labboek vind je mogelijke opdrachten en demonstraties rond het kalibreren van een verzwakkingsmeetprobe.

6.5 Eenfasige condensatormotor

Leerdoel

Hierna kan je:

- het doel van alle elektrische onderdelen van een eenfasige condensatormotor toelichten.

In de strikte zin van de betekenis bedoelen we met een eenfasige motor een inductiemotor met een statorfase die we aansluiten op een eenfasige wisselspanning. Zo'n motor heeft als groot nadeel dat hij niet aanloopt als we de wisselspanning aansluiten op de statorfase. Om de motor zelfstartend te maken, moeten we in de stator een hulpwikkeling voorzien die ruimtelijk loodrecht staat op de hoofdwikkeling en waardoor de stroom 90° verschoven is tegenover de stroom door de hoofdwikkeling. De klemmen van de hoofdwikkeling duiden we aan met U1 en U2, de klemmen van de hulpwikkeling (die niet identiek is aan de hoofdwikkeling) met Z1 en Z2. De hoofdwikkeling is een praktische spoel die zich inductief gedraagt, zodat de stroom door de hoofdwikkeling I_U over een hoek φ_U naijlt op de aangelegde spanning U . In het vectorendiagram van figuur 6.17 kan de stroom door de hulpwikkeling I_Z maar loodrecht op de stroom door de hoofdwikkeling staan als de kring waarin de hulpwikkeling geschakeld is, capacitief is.

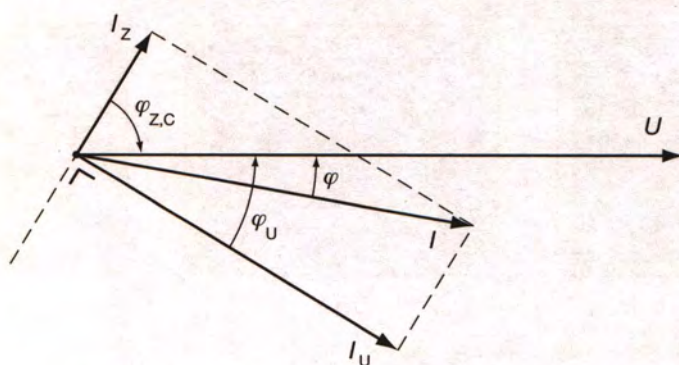


Fig. 6.17 Vectorendiagram van een eenfasige condensatormotor

De kring waarin de hulpwikkeling staat, maken we capacitief door een condensator C in serie met de hulpwikkeling te schakelen. De motor noemen we een eenfasige condensatormotor.

Figuur 6.18 stelt het elektrisch vervangingschema van een condensatormotor voor.

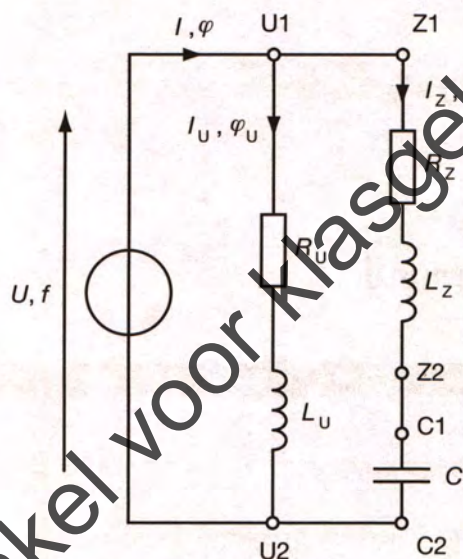


Fig. 6.18 Elektrisch vervangingschema van een eenfasige condensatormotor

Het elektrisch vervangingschema van een condensatormotor is een gemengde schakeling aangesloten op wisselspanning.



In het labboek vind je mogelijke opdrachten en demonstraties rond het vectorendiagram van de eenfasige condensatormotor en de duoschakeling van tl-lampen.

6.6 Voorbeelden

- 1 Een gewone TL-schakeling stellen we voor door de serieschakeling van een gelijkstroomweerstand met weerstandswaarde $200\ \Omega$ en een zuivere zelfinductie met inductiecoëfficiënt $1,744\ \text{H}$. We sluiten de TL-schakeling aan op een spanning van $230\ \text{V}$ met een frequentie van $50\ \text{Hz}$. We schakelen een condensator met capaciteit $4\ \mu\text{F}$ parallel op de TL-schakeling (figuur 6.1). Bereken de totale impedantie Z , de opgenomen stroom I en de takstromen I_1 en I_2 en de faseverschuivingen van de stromen. Bereken ook de resonantiefrequentie. Geef twee mogelijkheden om de kring in resonantie te brengen.

Gegeven: $R = 200\ \Omega$
 $L = 1,744\ \text{H}$
 $U = 230\ \text{V}$
 $f = 50\ \text{Hz}$
 $C = 4\ \mu\text{F}$

Gevraagd: – Bereken Z , I , I_1 , I_2 , φ , φ_1 , φ_2 en f_r
– Geef twee mogelijkheden om de kring in resonantie te brengen.

Oplossing: We berekenen eerst de impedanties, stromen en faseverschuivingen analytisch:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 1,744 = 547,9\ \Omega$$

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{200^2 + 547,9^2} = 583,3\ \Omega$$

$$\tan \varphi_1 = \frac{X_L}{R} = \frac{547,9}{200} = 2,740 \Rightarrow \varphi_1 = \tan^{-1}(\tan \varphi_1) = \tan^{-1}(2,740) = 69,95^\circ$$

$$I_1 = \frac{U}{Z_1} = \frac{230}{583,3} = 0,3943\ \text{A} = 394,3\ \text{mA}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} = 795,8\ \Omega$$

$$I_2 = \frac{U}{X_C} = \frac{230}{795,8} = 0,2890\ \text{A} = 289,0\ \text{mA}$$

$$\varphi_C = -90^\circ$$

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(90^\circ + \varphi_1)} \\ &= \sqrt{0,3943^2 + 0,2890^2 + 2 \cdot 0,3943 \cdot 0,2890 \cdot \cos(159,95)} \\ &= 0,1578\ \text{A} = 157,8\ \text{mA} \end{aligned}$$

$$Z = \frac{U}{I} = \frac{230}{0,1578} = 1,4575 \cdot 10^3\ \Omega = 1,4575\ \text{k}\Omega$$

$$\tan \varphi = \frac{I_1 \cdot \sin \varphi_1 - I_2}{I_1 \cdot \cos \varphi_1} = \frac{0,3943 \cdot \sin(69,95) - 0,2890}{0,3943 \cdot \cos(69,95)} = 0,6022$$

$$\Rightarrow \varphi = \tan^{-1}(\tan \varphi) = \tan^{-1}(0,6022) = 31,06^\circ$$

$$\cos \varphi = \cos(31,06^\circ) = 0,86$$

Om de redenering te kunnen volgen, moeten we eigenlijk een vectorendiagram tekenen. Als we de complexe rekenwijze toepassen, hebben we geen vectorendiagram nodig.

$$\bar{Z}_1 = R + j.X_L = 200 + j.547,9 = 583,3 \Omega \angle 69,95^\circ$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{1}{\bar{Z}_1} = \frac{1}{200 + j.547,9} = 587,9 \cdot 10^{-6} - j.1610,5 \cdot 10^{-6} = 1714,5 \cdot 10^{-6} \text{ S} \angle -69,95^\circ$$

$$\begin{aligned} \bar{I}_1 &= \bar{U} \cdot \bar{Y}_1 = (230 + j.0) \cdot (587,9 \cdot 10^{-6} - j.1610,5 \cdot 10^{-6}) = 0,13522 - j.0,3704 \\ &= 394,3 \text{ mA} \angle -69,95^\circ \end{aligned}$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{1}{-j.X_C} = \frac{1}{-j.795,8} = j.1256,6 \cdot 10^{-6} = 1256,6 \cdot 10^{-6} \text{ S} \angle 90^\circ$$

$$\bar{I}_2 = \bar{U} \cdot \bar{Y}_2 = (230 + j.0) \cdot 1256,6 \cdot 10^{-6} = j.0,2890 = 289,0 \text{ mA} \angle 90^\circ$$

$$\bar{Y} = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2 = 587,9 \cdot 10^{-6} - j.1610,5 \cdot 10^{-6} + j.1256,6 \cdot 10^{-6} =$$

$$587,9 \cdot 10^{-6} - j.353,9 \cdot 10^{-6} = 686,2 \cdot 10^{-6} \text{ S} \angle -31,05^\circ$$

$$\bar{Z} = \frac{1}{\bar{Y}} = \frac{1}{587,9 \cdot 10^{-6} - j.353,9 \cdot 10^{-6}} = 1248,5 \cdot 10^{-6} + j.751,6 = 1448,5 \Omega \angle 31,05^\circ$$

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \bar{U} \cdot \bar{Y} = (230 + j.0) \cdot (587,9 \cdot 10^{-6} - j.353,9 \cdot 10^{-6}) = 0,13522 - j.0,08140 \\ &= 157,8 \text{ mA} \angle -31,05^\circ \end{aligned}$$

$$\varphi = \varphi_U - \varphi_I = 0 - (-31,05^\circ) = 31,05^\circ$$

We berekenen de resonantiefrequentie:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{1,744 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} - \frac{200^2}{1,744^2}} = 57,4 \text{ Hz}$$

De kring kunnen we in resonantie brengen door:

- aan de kring een spanning aan te sluiten waarvan de frequentie gelijk is aan de resonantiefrequentie;
- de waarde van de componenten te wijzigen.

De gelijkstroomweerstand kunnen we niet wijzigen want ze zijn nodig om de elektrische energie om te zetten in de gewenste energievorm. De spoel is vrij moeilijk aan te passen aan de gewenste specificaties. Condensatoren zijn in een ruim gamma beschikbaar waardoor het vinden van een geschikte capaciteitswaarde om resonantie te bekomen tot de mogelijkheden behoort.

Als de kring in resonantie is, is:

$$\varphi = 0 \Rightarrow \tan \varphi = 0$$

$$I_2 = I_1 \cdot \sin \varphi_1$$

$$\frac{U}{X_C} = I_1 \cdot \sin \varphi_1$$

$$U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C = I_1 \cdot \sin \varphi_1$$

$$C = \frac{I_1 \cdot \sin \varphi_1}{U \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{0,3943 \cdot \sin(69,95)}{230 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 50} = 5,13 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 5,13 \text{ } \mu\text{F}$$

- 2 Bereken de beide resonantiefrequenties van het kristal, waarvan de elektrische waarden gegeven zijn in figuur 6.9. Bereken bij elke resonantiefrequentie de impedantie, de faseverschuiving, de kwaliteitsfactor en de bandbreedte.

Gegeven: $R_x = 400 \text{ } \Omega$
 $L_x = 52 \text{ H}$
 $C_x = 0,049 \text{ pF}$
 $C_p = 8 \text{ pF}$

Gevraagd: $f_{rs}, f_{rp}, Z_{rs}, Z_{rp}, \varphi_{rs}, \varphi_{rp}, Q_s, Q_p, B_s$, en B_p

We geven de oplossing aan de hand van een excelrekenblad in tabel 6.1.

	cel	excelformules	serieresonantie	parallelresonantie
$L_x \text{ (H)}$	1	52	52	52
$C_x \text{ (F)}$	2	4,9E-14	4,9E-14	4,9E-14
$R_x \text{ (}\Omega\text{)}$	3	400	400	400
$C_p \text{ (F)}$	4	8E-12	8E-12	8E-12
$C_v \text{ (F)}$	5	=1/(1/B2+1/B4)		4,87017E-14
$f_r \text{ (Hz)}$	6	=1/(2*PI()*WORTEL((B1*B2)))	99705,79939	100010,6823
$X_{Lx} \text{ (}\Omega\text{)}$	7	=2*PI()*B6*B1	32576440,72	32676053,77
$X_{Cx} \text{ (}\Omega\text{)}$	8	=1/(2*PI()*B6*B2)	32576440,72	32477131,34
X_{Lx}^-	9	=COMPLEX(0;-B7;"j")	32576440,7171182j	32676053,7671843j
X_{Cx}^-	10	=COMPLEX(0;-B8;"j")	-32576440,7171182j	-32477131,3377406j
Z_x	11	=C.SOM(B3;B9;B10)	400	400+198922,429443698j
Y_x	12	=C.MACHT(B11;-1)	0,0025	1,01085933492868E-08-5,02706486824652E-06j
X_{cp}	13	=1/(2*PI()*B6*B4)	199530,6994	198922,4294
Z_p	14	=COMPLEX(0;-B13;"j")	-199530,699392349j	-198922,429443661j
Y_p	15	=C.MACHT(B14;-1)	3,07007507776921E-22+5,01176011032589E-06j	3,07946282964438E-22+5,02708519495144E-06j
Y	16	=C.SOM(B12;B15)	0,0025+5,01176011032589E-06j	1,01085933492871E-08+2,03267049197058E-11j
Z	17	=C.MACHT(B16;-1)	399,998392471139-0,801878395032533j	98925332,3394212-198922,438569463j
$Z \text{ (}\Omega\text{)}$	18	=C.ABS(B17)	400	98925532
$\varphi \text{ (rad)}$	19	=C.ARGUMENT(B17)	-0,002004701	-0,002010831
$\varphi \text{ (}^\circ\text{)}$	20	=B19/PI()*180	-0,1	-0,1
Q	21	=D6/D3	81441	81690
$B \text{ (Hz)}$	22	=D5/D21	1,22	1,22

Tabel 6.1 Oplossing voorbeeld 2

- 3 In figuur 6.12 is de bronspanning 20 mV, de frequentie van de bronspanning 10 MHz, de weerstandswaarde van de bronweerstand 600 Ω , de ingangsweerstand van de oscilloscoop 1 M Ω en de ingangscapaciteit van de oscilloscoop 20 pF. Bereken de ingangsspanning van de oscilloscoop analytisch en complex.

Gegeven: $E_b = 20,0 \text{ mV}$
 $f = 10 \text{ MHz}$
 $R_b = 600 \Omega$
 $R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$
 $C_{in} = 20 \text{ pF}$

Gevraagd: U_{in}

Analytische oplossing:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-12}} = 796 \Omega$$

In de parallelschakeling aan de ingang van de oscilloscoop wordt de stroomsterkte vooral bepaald door de component met de kleinste weerstand. In de parallelschakeling kunnen we de ingangsweerstand verwaarlozen tegenover de capacitantie van de ingangscapacitor.

$$Z = \sqrt{R_b^2 + X_C^2} = \sqrt{600^2 + 796^2} = 999 \Omega$$

$$I = \frac{E_b}{Z} = \frac{0,020}{999} = 20,0 \cdot 10^{-6} \text{ A} = 20,0 \mu\text{A}$$

$$U_{in} = I \cdot X_C = 20,0 \cdot 10^{-6} \cdot 796 = 15,92 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 15,92 \text{ mV}$$

Complexe oplossing:

$$\bar{X}_C = -j \cdot X_C = -j796$$

We verwaarlozen de ingangsweerstand tegenover de ingangscapaciteit.

$$\bar{Z} = R - j \cdot X_C = 600 - j796$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}_b}{\bar{Z}} = \frac{20,0 \cdot 10^{-3}}{600 - j796} = 12,08 \cdot 10^{-6} + j16,02 \cdot 10^{-6}$$

$$\bar{U}_{in} = \bar{I} \cdot \bar{X}_C = (12,08 \cdot 10^{-6} + j16,02 \cdot 10^{-6}) \cdot (-j796) = 12,75 \cdot 10^{-3} - j9,61 \cdot 10^{-3}$$

$$U_{in} = \sqrt{(12,75 \cdot 10^{-3})^2 + (-9,61 \cdot 10^{-3})^2} = 16,14 \cdot 10^{-3} \text{ V} = 16,14 \text{ mV}$$

- 4 We sluiten een eenfasige condensatormotor aan op een spanning van 230 V met een frequentie 50 Hz. We bemeten de schakeling met V-meter, A-meter en $\cos \varphi$ -meter. In de aansluitdraden duidt de A-meter 0,90 A en de $\cos \varphi$ -meter 1,00 aan. In de kring van de hoofdwikkeling duidt de A-meter 0,69 A en de $\cos \varphi$ -meter 0,76 inductief aan. In de kring van de hulpwikkeling duidt de A-meter 0,59 A en de $\cos \varphi$ -meter 0,64 capacitef aan. De voltmeter over de condensator duidt 300 V aan. Teken het vectorendiagram van de schakeling en benoem alle grootheden in overeenstemming met figuur 6.17.

Gegeven: $U = 230 \text{ V}$
 $I = 0,90 \text{ A}$
 $\cos \varphi = 1,00$
 $I_U = 0,69 \text{ A}$
 $\cos \varphi_U = 0,76$
 $I_Z = 0,59 \text{ A}$
 $\cos \varphi_{Z,C} = 0,64$
 $U_C = 300 \text{ V}$

Gevraagd: vectorendiagram

Oplossing: Figuur 6.19 stelt het volledige vectorendiagram voor.

Aangezien we de aangelegde spanning U kennen, tekenen we ze horizontaal en naar rechts gericht.

De opgenomen stroom I is in fase met de aangelegde spanning, want

$$\varphi = \cos^{-1}(\cos \varphi) = \cos^{-1}(1,00) = 0^\circ$$

De stroom door de hoofdwikkeling I_U ijlt na op de aangelegde spanning (inductief) over een faseverschuivingshoek

$$|\varphi_U| = \cos^{-1}(\cos \varphi_U) = \cos^{-1}(0,76) = 40^\circ$$

De stroom door de hulpwikkeling I_Z ijlt voor op de aangelegde spanning (capacitef) over een faseverschuivingshoek

$$|\varphi_{Z,C}| = \cos^{-1}(\cos \varphi_{Z,C}) = \cos^{-1}(0,64) = 50^\circ$$

Met een parallellogram controleren we of de opgenomen stroom de vectoriële som is van de stroom door de hoofdwikkeling en de hulpwikkeling.

De spanning over de condensator (zuiver capacitef) ijlt 90° na op de stroom door de condensator $I_C = I_Z$. De hoek van de stroom door de condensator naar de spanning over de condensator duiden we aan met φ_C .

We construeren een parallellogram waarvan de zijden U_C en U_Z zijn, zodat U een diagonaal is. De hoek van de stroom door de hulpwikkeling naar de spanning over de hulpwikkeling duiden we aan met φ_Z .

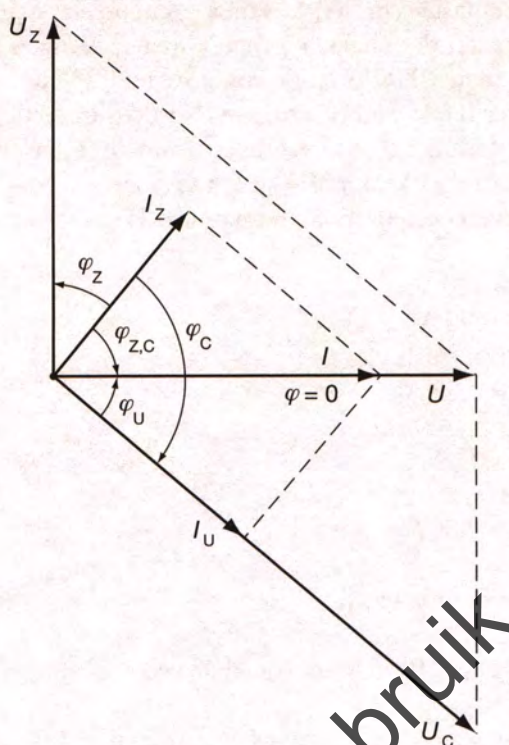


Fig. 6.19 Vectorendiagram bij voorbeeld 4

6.7 Opdrachten

- 1 Bereken voor de schakeling van figuur 6.20 de stroomsterkten I_1 , I_2 en I , de faseverschuivingshoek tussen de bronspanning en de opgenomen stroom en de totale impedantie.

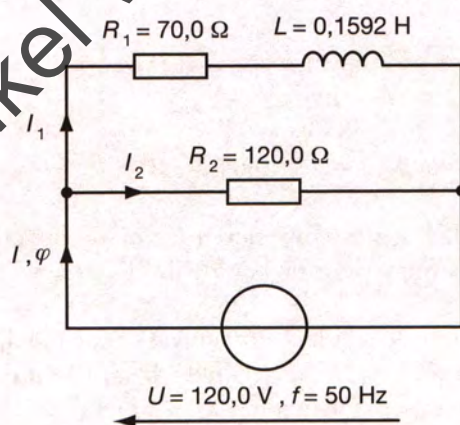


Fig. 6.20 Elektrisch schema bij opdracht 1

- 2 Bereken de totale impedantie, de bronstroom I en de takstromen I_1 en I_2 van de gemengde kring in figuur 6.21 met de complexe rekenwijze. Bepaal ook de faseverschuivingshoeken t.o.v. de bronspanning.

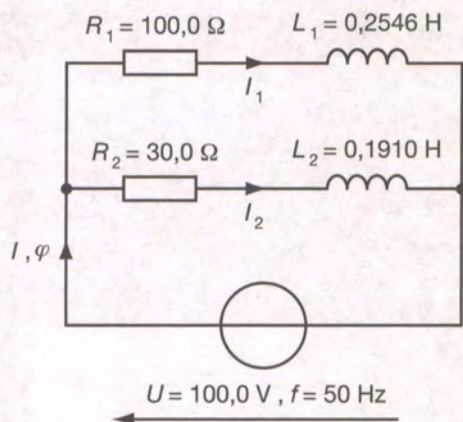


Fig. 6.21 Elektrisch schema bij opdracht 2

- 3 Een RL-seriekring met een gelijkstroomweerstand van $6\ \Omega$ en een inductiecoëfficiënt van $80,0\ \text{mH}$ is aangesloten op een bronspanning van $50\ \text{V}$ met frequentie $50\ \text{Hz}$. Bereken de capaciteit van de condensator die je parallel op de kring moet schakelen om parallelresonantie te bekomen. Bereken ook de stroomsterkte in de voedingslijn bij resonantie.
- 4 In een inductieve kring ijlt een stroom van $1\ \text{A}$ $50\ \text{mA}$ op de spanning van $100\ \text{V} - 50\ \text{Hz}$. Je schakelt een condensator van $20\ \mu\text{F}$ parallel met de inductieve kring. Bepaal de stroomsterkte van de resulterende stroom en de faseverschuivingshoek tussen de bronspanning en de opgenomen stroom.



Op de cd-rom vind je een diagnostische toets en extra taken.

Enkel voor klasgebruik

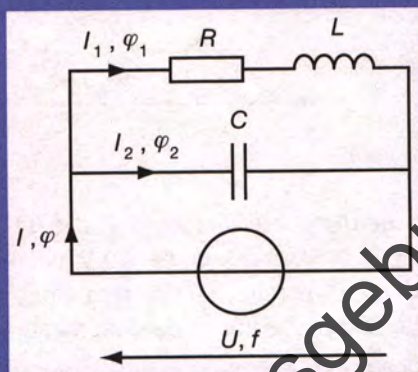
SYNTHESE

Gemengde schakeling

1 Spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met condensator

Een inductieve verbruiker kunnen we altijd beschouwen als een RL-seriekring. In praktische sterkstroomtoepassingen willen we zoveel mogelijk de bronstroom in fase krijgen met de bronspanning. We willen m.a.w. de $\cos \varphi$ (arbeidsfactor) gelijk aan 1 krijgen. Om dat te bereiken schakelen we een aangepaste condensator parallel met de inductieve verbruiker.

Bij **hogere frequenties** moeten we een praktische spoel beschouwen als een spoel met gelijkstroomweerstand in parallel met een condensator.



Een schakeling is een parallelresonantiekring, als de resonantiefrequentie:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{L^2}}$$

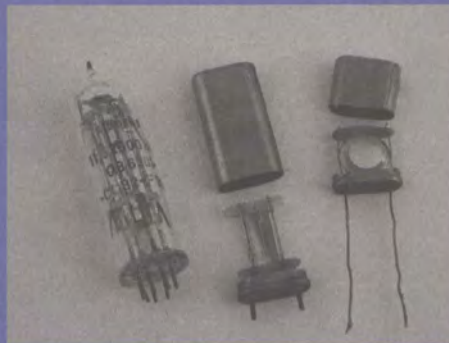
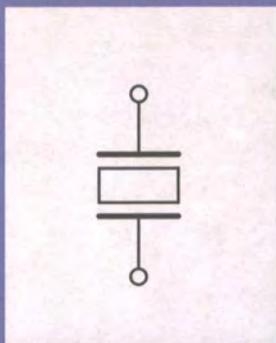
Als $R \neq 0$ is de stroomsterkte bij de resonantiefrequentie niet minimaal. De frequentie waarbij de stroomsterkte minimaal is, verschilt meer van de resonantiefrequentie naarmate de gelijkstroomweerstand groter is.

2 De RLC-seriekring in combinatie met de RLC-parallelkring

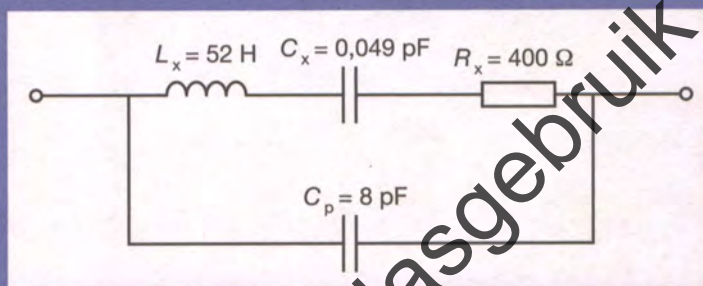
Een antenne ontvangt signalen met verschillende frequenties. Een radio-ontvanger stellen we in op een gewenste frequentie. De RLC-parallelkring tussen de antenne en de massa leidt de signalen met niet-gewenste frequenties af naar de massa. De RLC-seriekring in serie met de ingang van de ontvanger laat enkel het signaal met de gewenste frequentie door.

3 Kristallen

In hoogfrequente, elektronische schakeling gebruiken we meestal een kristal als frequentie-bepalend element. Een kristal is meestal gemaakt uit kwarts, zodat het ook kwartskristal genoemd wordt.



Het kristal is geen elektrische maar een mechanische resonator. Door het piëzo-elektrische effect veroorzaken mechanische trillingen in het kristal een spanning aan de klemmen van het kristal. Als we een wisselspanning aansluiten op het kristal ontstaan er mechanische trillingen in het kristal die een stroomsterkte door het kristal toelaten. De impedantie van het kristal is heel sterk afhankelijk van de frequentie van de aangelegde spanning.



Elektrisch vervangingschema van een 100 kHz kristal

Het kristal heeft een serieresonantiefrequentie die bepaald wordt door die inductiecoëfficiënt L_x en de capaciteit van de condensator C_x .

$$f_{rs} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_x \cdot C_x}} \text{ (Hz)}$$

Het kristal heeft ook een parallelresonantiefrequentie die bepaald wordt door de inductiecoëfficiënt en de vervangingscapaciteit van de twee condensatoren.

$$f_{rp} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_x \cdot C_v}} \text{ (Hz)}$$

Bij resonantie wordt er energie uitgewisseld tussen de spoel en de condensatoren. Bij de resonantie moeten we dan ook de condensatoren als een serieschakeling beschouwen, zodat:

$$C_v = \frac{C_x \cdot C_p}{C_x + C_p}$$

De vervangingscapaciteit is altijd kleiner dan C_x , zodat de parallelresonantiefrequentie altijd hoger is dan de serieresonantiefrequentie. Praktisch ligt de parallelresonantiefrequentie relatief dicht bij de serieresonantiefrequentie.

4 Verzwakkingsmeetprobe voor oscilloscoop

Bij oscilloscoopmetingen gebruiken we in principe een verzwakkingsmeetprobe die aangepast is aan de ingangsgrootheden van de oscilloscoop. We kalibreren de meetprobe door ze aan te sluiten op het probekalibreringsmeetpunt van de oscilloscoop en met een trimstok de regelbare condensator in de probe bij te regelen tot een perfect blokvormig signaal op het scherm verschijnt.

5 Eenfasige condensatormotor

Een eenfasige condensatormotor is net als de duoschakeling van tl-lampen een toepassing van de parallelschakeling van een RL-seriekring en een RLC-seriekring.

Enkel voor klasgebruik