PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektriciteitsleer

Leerlingboek AS-6

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

Tweede, herziene druk 1976
Vijfde druk 1979

161210-6

PHILIPS

CURSUS BEDRIJFSELEKTRONICA

Elektriciteitsleer

Leerlingboek AS-6

Philips Nederland B.V. - Afd. Onderwijsactiviteiten

OVER DEZE SCANS
Als basis voor deze scans hebben wij gebruik gemaakt van de door 'Freeservicemanuals' in 2018 gemaakte scans. Wij hebben de pagina's van deze scans echter zorgvuldig naar de originele staat gerestaureerd, onder andere door alle persoonlijke notities en de antwoorden op alle oefeningen en vragen te verwijderen.

Tweede, herziene druk 1976

Vijfde druk 1979

161210·6

INHOUDSOPGAVE

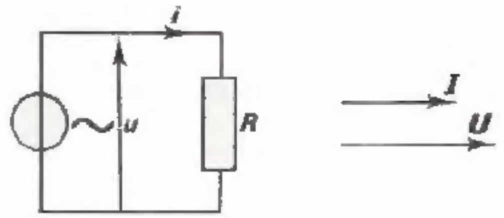
b

A 53 *RC*- EN *RL*-FILTERS

EVEN OPHALEN

- Een *weerstand* heeft zowel bij hoge als bij lage frequenties dezelfde wisselstroomweerstand.

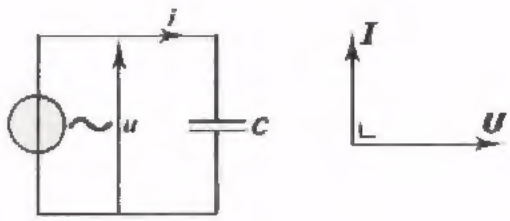
  Bij een weerstand zijn wisselstroom en -spanning met elkaar in fase.



- Een *condensator* heeft bij lage frequenties een zeer grote wisselstroomweerstand en vormt bij hoge frequenties nagenoeg een kortsluiting.

  $$X_C = \frac{1}{2\pi fC}.$$

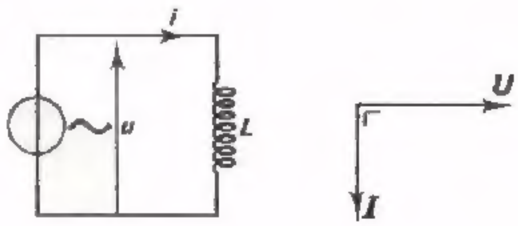
  Bij een condensator ijlt de wisselstroom 90^0 voor op de wisselspanning.



- Een *spoel* vormt bij lage frequenties nagenoeg een kortsluiting en heeft bij hoge frequenties een zeer grote wisselstroomweerstand.

  $$X_L = 2\pi fL$$

  Bij een spoel ijlt de wisselstroom 90^0 na op de wisselspanning.



Dit gedrag van weerstand, condensator en spoel moet u in deze les steeds goed in gedachten houden. U zult er dan de eigenschappen van de verschillende schakelingen gemakkelijk mee kunnen inzien.
In de volgende tabel zetten we dit alles nog eens overzichtelijk bij elkaar.

OVERZICHT VAN DE EIGENSCHAPPEN VAN *R*, *C* EN *L*

component	wisselstroom-weerstand	$\frac{u}{i}$ bij *lage* frequenties	$\frac{u}{i}$ bij *hoge* frequenties	fase tussen i en u
weerstand	R	bij alle frequenties hetzelfde		i in fase met u
condensator	$X_C = \frac{1}{\omega C}$	zeer groot	zeer klein	i ijlt 90^0 *voor* op u
spoel	$X_L = \omega L$	zeer klein	zeer groot	i ijlt 90^0 *na* op u

FILTERS

In de elektronica komt het vaak voor,dat men een spanning heeft,die samengesteld is uit afzonderlijke spanningen met verschillende frequenties, zowel hoge als lage. Het is dan dikwijls nodig de wisselspanningen met lage frequenties te scheiden van die met hoge frequenties. Soms zelfs wil men alleen de frequenties eruit halen,die een bepaald gebied bestrijken, b.v. van 110 kHz tot 130 kHz. Het "scheiden" of "eruit halen" van gewenste frequenties noemt men *filteren*. Dit kan men bereiken met schakelingen,die opgebouwd zijn uit *R*'s, *C*'s en *L*'s. Deze schakelingen heten *filters*.

Laat een filter alleen lage frequenties door,dan spreekt men van een *laagdoorlatend filter*.

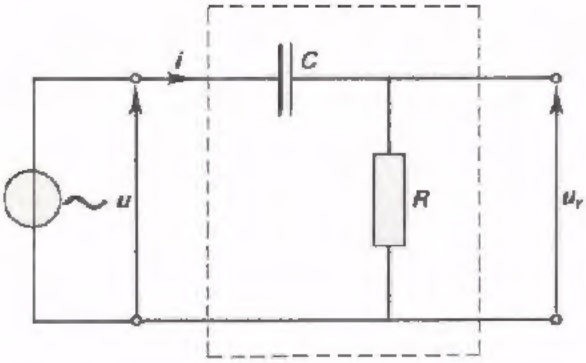
Laat een filter alleen hoge frequenties door,dan heeft men een *hoogdoorlatend filter*.

Laat een filter alleen frequenties door,die tussen twee gegeven frequenties in liggen, (een z.g. "frequentieband"), dan heeft men een *banddoorlatend filter*.

Laat een filter alle frequenties door, behalve die binnen een bepaalde frequentieband liggen, dan heeft men te doen met een *bandonderdrukkend of bandsperfilter*.

In deze les behandelen we alleen enkele voorbeelden van laag- en hoogdoorlatende filters, die uit één R en één C, of uit één R en één L zijn opgebouwd.

HET C-R-FILTER



Aan deze serieschakeling van een C en een R voeren we aan de ingang een wisselspanning u toe. Van de weerstand nemen we de uitgangsspanning u_r af.

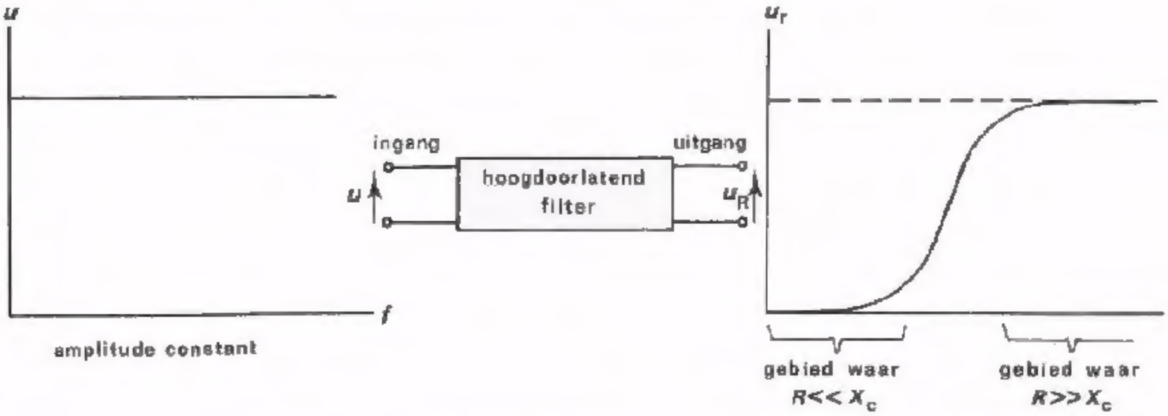
Bedenk eerst nog even.

- Bij lage frequenties is $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ zeer groot
- Bij hoge frequenties is X_C erg klein.

We kunnen nu direct inzien:

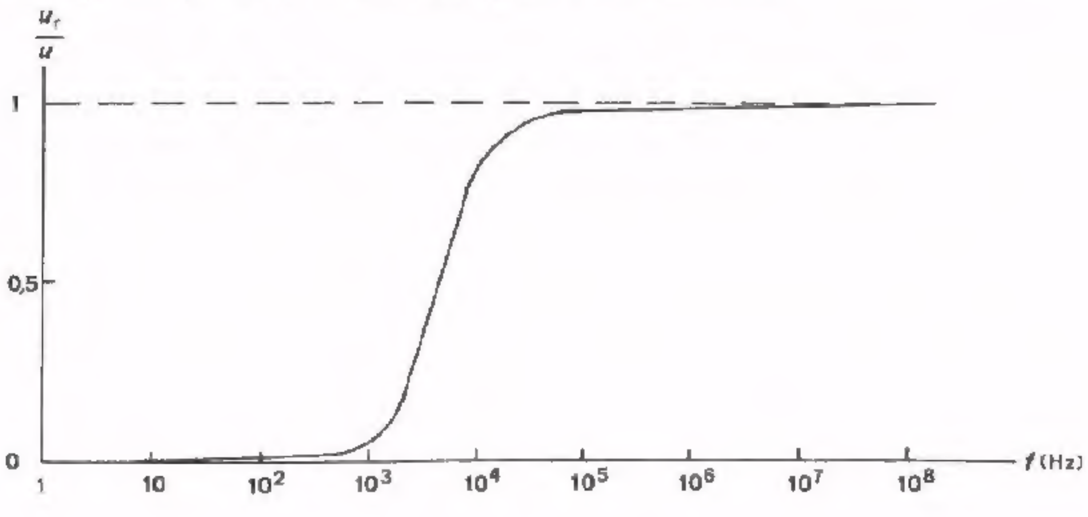
- Bij *lage* frequenties is X_C veel groter dan R, zodat de toegevoerde spanning bijna geheel over de condensator staat. Over de R staat dan bijna niets en er is dus vrijwel geen spanning over de uitgangsklemmen.
- Bij *hoge* frequenties is X_C veel kleiner dan R, zodat de toegevoerde spanning bijna geheel over de weerstand staat. Er staat een spanning u_r over de uitgang, die vrijwel gelijk is aan de toegevoerde spanning u.

We zien, dat dit filter een *hoogdoorlatend filter* is. Alleen de hoge frequenties worden immers onverzwakt doorgelaten van ingang naar uitgang. We kunnen dit laten inzien met behulp van grafieken.



We voeren aan de ingang van het *C-R*-filter een wisselspanning toe met *constante amplitude*, waarvan we de frequentie veranderen van nul naar zeer hoge waarden. De uitgangsspanning is bij lage frequenties vrijwel nul en wordt bij hoge frequenties nagenoeg gelijk aan de toegevoerde spanning.

De grafiek van de uitgangsspanning geeft een goed beeld van de wisselspanningen die wel en die niet worden doorgelaten. Meestal geeft men echter niet de grafiek van de uitgangsspanning, omdat de grootte van de uitgangsspanning niet alleen afhangt van de frequentie, maar ook van de grootte van de ingangsspanning. Is u groter, dan is ook u_r groter; is u kleiner, dan is ook u_r kleiner. Onafhankelijk van de grootte van de ingangsspanning is *de verhouding* $\frac{u_r}{u}$ van uit- en ingangsspanning. Daarom zet men gewoonlijk deze verhouding uit tegen de frequentie. De grafiek zal dan op dezelfde wijze verlopen als de u_r-grafiek boven aan dit blad. Bovendien zet men de *frequentie* altijd *logaritmisch* uit om het gebied van de lage frequenties veel duidelijker te laten zien.

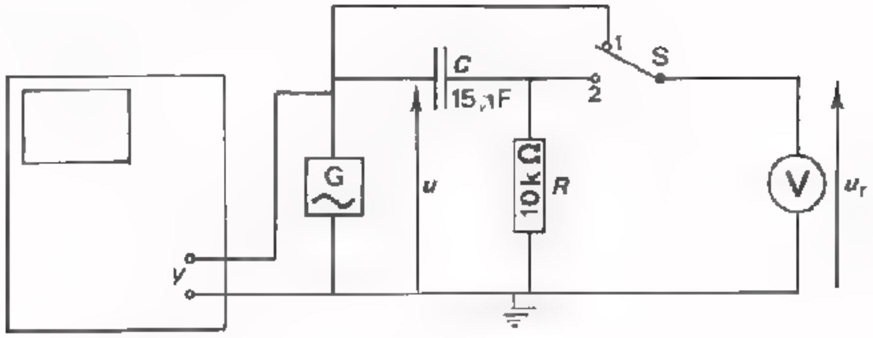


Deze grafiek noemt men de *amplitude-frequentie-karakteristiek*, of kortweg "de frequentie-karakteristiek".
Men kan hem meten door een constante wisselspanning u van bijvoorbeeld 1 V aan het filter toe te voeren en dan bij verschillende frequenties de uitgangsspanning u_r te meten.

$$\text{Dan is } \frac{u_r}{u} = \frac{u_r}{1} = u_r .$$

D.w.z., door u gelijk aan 1 V te kiezen is de verhouding $\frac{u_r}{u}$ gelijk aan u_r.

OPDRACHT: METEN AAN HET *C*-*R*-FILTER



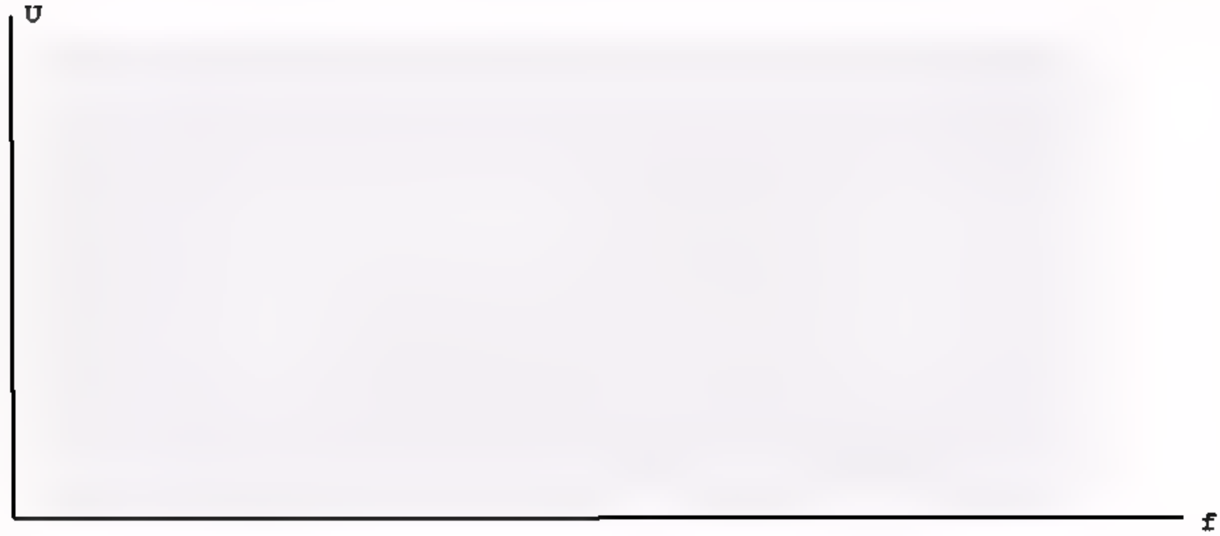
- Bouw bovenstaande schakeling met S in stand 1.
- Voer een wisselspanning toe, waarvan de frequentie 30 Hz bedraagt en stel U_{eff} in op 1 V met behulp van de elektronische voltmeter.
- Stel de oscilloscoop zo in, dat er een zo groot mogelijke top-tot-top-waarde U_{tt} zichtbaar is. Noteer de grootte van U_{tt}, uitgedrukt in divisions.

  U_{tt} = ☐ div

- We hebben nu het aantal divisions gevonden, dat overeenkomt met 1 V van de voltmeter. Tijdens de nu volgende meting moet de spanning U_{eff} steeds op 1 V gehouden worden. Hiervoor gebruiken wij de oscilloscoop, die op de ingang aangesloten wordt.
- Zet S in stand 2, zodat de voltmeter op de uitgang van het *C*-*R*-filter is aangesloten.
- Meet $U_{r(eff)}$ bij volgende frequenties en noteer deze $U_{r(eff)}$-waarden. Zorg ervoor dat U_{tt} constant blijft.

f (Hz)	30	10^2	3.10^2	10^3	3.10^3	10^4	3.10^4
$U_{r(eff)}$							

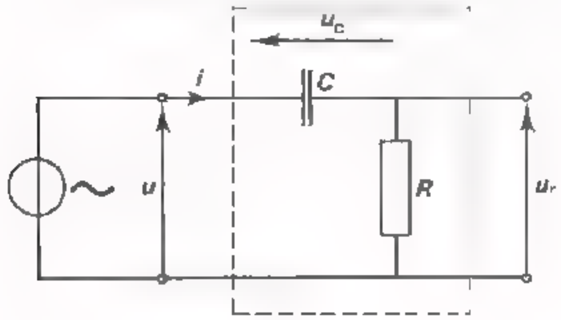
- Zet de gevonden waarden uit in een grafiek met logaritmische frequentieschaal.



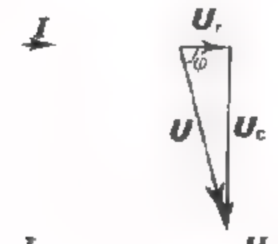
DE FASEHOEK VAN u_r T.O.V. u

We hebben gezien dat het *C-R*-filter een hoogdoorlatend filter is. Spanningen met hoge frequenties worden wel en die met lage frequenties vrijwel niet doorgegeven. Merk op, dat gelijkspanningen (die als het ware de frequentie "nul" hebben) helemaal niet worden doorgegeven.

De verhouding $\frac{u_r}{u}$ van uit- en ingangsspanning komt duidelijk tot uiting in de amplitude-frequentie-karakteristiek. Hoe staat het nu bij de verschillende frequenties met de fasehoek tussen in- en uitgansspanning? Dit laat zich onderzoeken aan de hand van het vectordiagram.

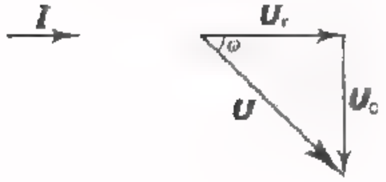


Bij het volgende veronderstellen we, dat bij de verschillende frequenties de ingangsspanning u constant is. Hieronder zijn de vectordiagrammen getekend voor het geval dat:



- f is laag dus

$$\frac{1}{\omega C} >> R.$$



- f is zodanig dat

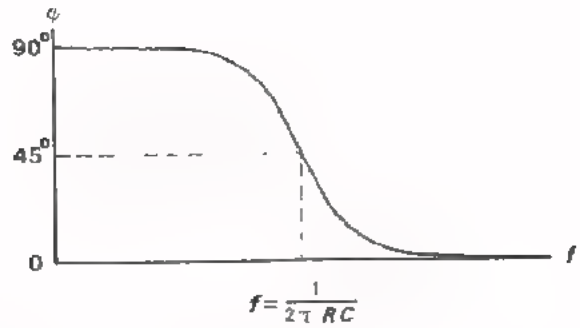
$$\frac{1}{\omega C} = R.$$

Dit betekent dat

$$u_c = u_r \text{ en } \varphi = 45^0.$$

- f is hoog dus

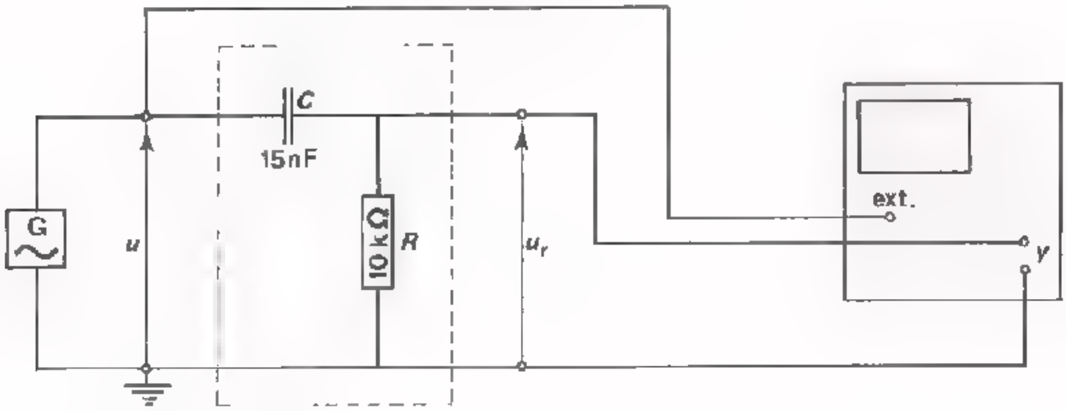
$$\frac{1}{\omega C} << R.$$



We zien dat de fasehoek φ tussen u en u_r bij zeer lage frequenties bijna 90^0 is en bij zeer hoge frequenties bijna 0^0.

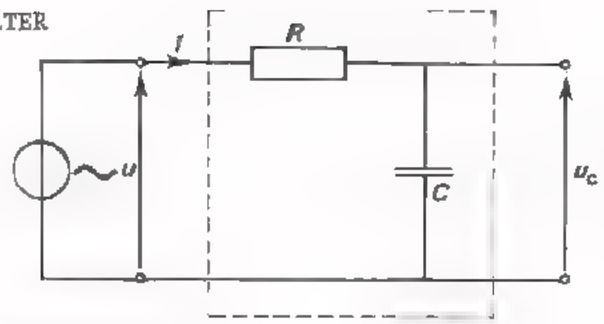
Ook φ kan men in een grafiek bij verschillende frequenties uitzetten. Deze heet *fase-frequentie-karakteristiek*.

OPDRACHT: DE FASEHOEK TUSSEN u_r EN u BIJ VERSCHILLENDE FREQUENTIES



- Bouw bovenstaande schakeling.
- Stel de oscilloscoop in op: *X* DEFL : "EXT"
  0-AC-DC: "AC".
- Stel U_{eff} in op 10 V bij f = 30 Hz en maak een grote ellips op het scherm zichtbaar.
- Laat f toenemen tot 10 kHz. *Houdt daarbij de Y-deflectie op het scherm ongeveer constant* met behulp van de *Y*-AMPL-schakelaar van de oscilloscoop. Dit is nodig, omdat u_r sterk toeneemt als f toeneemt.
- U ziet dat bij lage f de ellips recht staat; φ is dan ongeveer 90^0. Bij toenemende f gaat de ellips steeds schever staan en wordt daarbij smaller; φ neemt af tot bijna 0^0.

HET R-C-FILTER



We voeren een wisselspanning u toe aan de serieschakeling van een weerstand en een condensator. Over de condensator nemen we de wisselspanning u_c af.

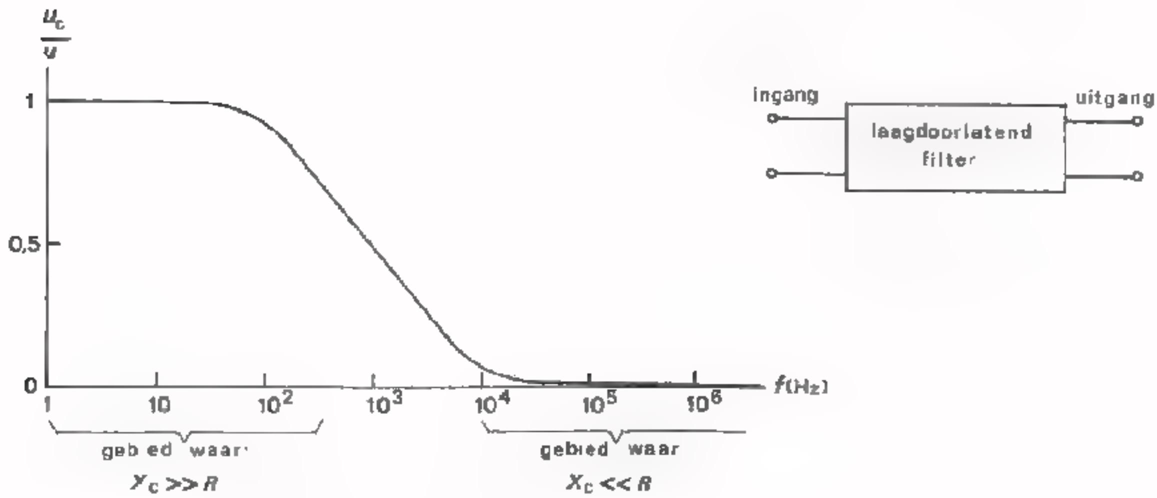
Bedenk eerst

- Bij lage frequenties is $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ zeer groot
- Bij hoge frequenties is X_C erg klein.

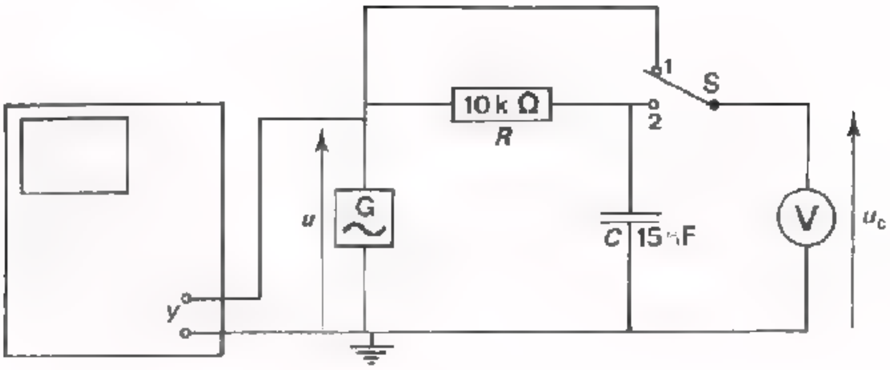
We zien dan direct

- Bij *lage* frequenties is X_C veel groter dan R, zodat de toegevoerde spanning bijna geheel over de C staat. Er staat een spanning u_c over de uitgangsklemmen die vrijwel gelijk is aan de toegevoerde spanning u.
- Bij *hoge* frequenties is X_C veel kleiner dan R, zodat de toegevoerde spanning bijna geheel over de R staat. Over de C staat dan bijna niets en er is dus vrijwel geen spanning over de uitgangsklemmen.

We zien dat dit filter een *laagdoorlatend filter* is. De lage frequenties worden immers nagenoeg onverzwakt doorgegeven van ingang naar uitgang. Ook een gelijkspanning (met als het ware $f = 0$) wordt doorgelaten. We kunnen dit laten zien met behulp van een amplitude-frequentie-karakteristiek. Hier is de verhouding $\frac{u_c}{u}$ uitgezet tegen de frequentie.



OPDRACHT: METEN AAN HET R-C-FILTER



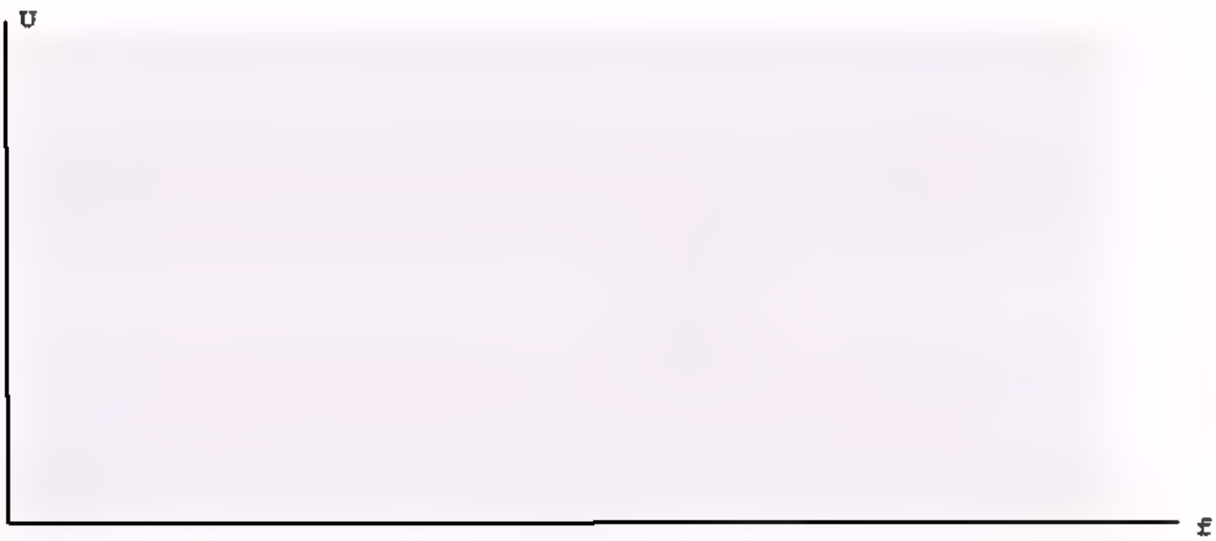
- Bouw bovenstaande schakeling met S in stand 1.
- Voer een wisselspanning toe waarvan de frequentie 30 Hz bedraagt en stel U_{eff} in op 1 V met behulp van de voltmeter.
- Stel de oscilloscoop zo in, dat een maximale U_{tt} zichtbaar is. Noteer de grootte van U_{tt}, uitgedrukt in divisions

U_{tt} = ______ div

- Zet S in stand 2, zodat de voltmeter op de uitgang is aangesloten, terwijl de oscilloscoop op de ingang aangesloten blijft.
- Meet $U_{c(eff)}$ bij volgende frequenties en zorg ervoor dat U_{tt} constant blijft.

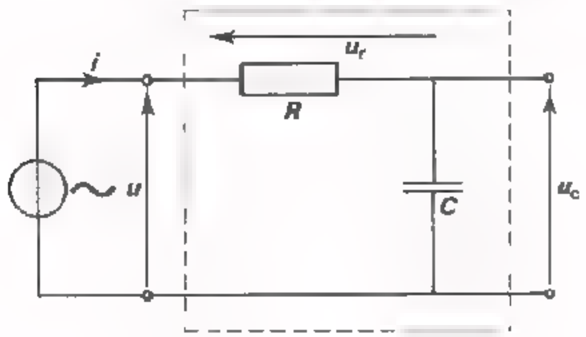
f (Hz)	30	100	300	10^3	3.10^3	10^4	3.10^4
$U_{c(eff)}$							

- Zet de gevonden waarden uit in een grafiek.



DE FASEHOEK BIJ HET *R-C*-FILTER

Evenals bij het *C-R*-filter is bij het *R-C*-filter de fasehoek tussen de uitgangs- en de ingangsspanning afhankelijk van de frequentie. Met behulp van het vectordiagram gaan we deze afhankelijkheid bekijken.



We veronderstellen dat bij verschillende frequenties de ingangsspanning u constant blijft.

- f is laag dus

$$\frac{1}{\omega C} >> R$$

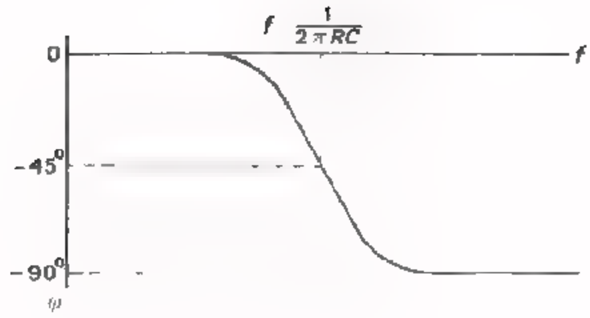
- f is zodanig dat

$$\frac{1}{\omega C} = R$$

Dan $u_c = u_r$ en $\varphi = 45^0$

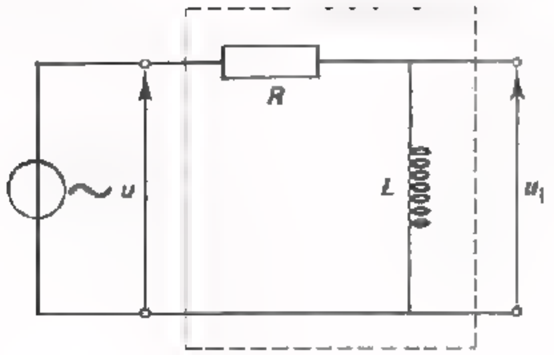
- f is hoog dus

$$\frac{1}{\omega C} << R.$$



We zien dat de toestand tegengesteld is aan die van het *C-R*-filter. Nu is de fasehoek φ tussen uit- en ingangsspanning bij lage frequenties bijna nul en bij hoge bijna 90^0. De uitgangsspanning ijlt altijd na op de ingangsspanning; φ is negatief. Hiernaast is weer de fase-frequentie-karakteristiek getekend.

HET *R*-*L*-FILTER



We komen nu tot het *R*-*L*- en het *L*-*R*-filter. Om te beginnen voeren we een wisselspanning u toe aan de serieschakeling van een weerstand en een spoel. Over de spoel nemen we de wisselspanning u_1 af.

Bedenk eerst

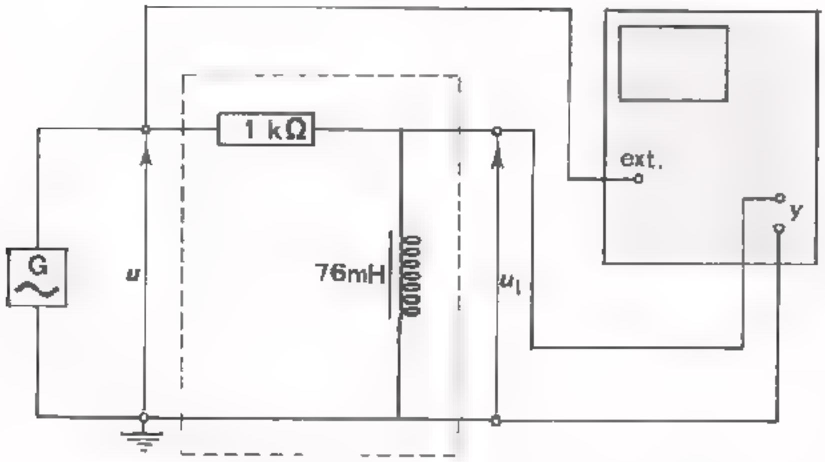
- Bij lage frequenties is $X_L = 2\pi fL$ zeer klein.
- Bij hoge frequenties is X_L erg groot.

Hiermee zien we in

- Bij *lage* frequenties is X_L veel kleiner dan R, zodat u bijna geheel over de R staat. Er is een spanning u_1 aan de uitgang die bijna nul is.
- Bij *hoge* frequenties is X_L veel groter dan R, zodat u dan bijna geheel over de L staat. Er is een spanning u_1 aan de uitgang die vrijwel gelijk is aan de ingangsspanning u.

Hieruit volgt dat het *R*-*L*-filter een ***hoogdoorlatend filter*** is. De amplitude-frequentie-karakteristiek zal dus net zo verlopen als die van het *C*-*R*-filter op blad A53.4. Het zal duidelijk zijn dat ook bij het *R*-*L*-filter de fasehoek tussen uit- en ingangsspanning van de frequentie afhankelijk is. In een volgende opdracht gaan we de frequentie-afhankelijkheid van amplitude en fase bekijken.

OPDRACHT: DE FREQUENTIE-AFHANKELIJKHEID VAN $\frac{u_l}{u_c}$ BIJ EEN *R-L*-FILTER



- Bouw nevenstaande schakeling met:

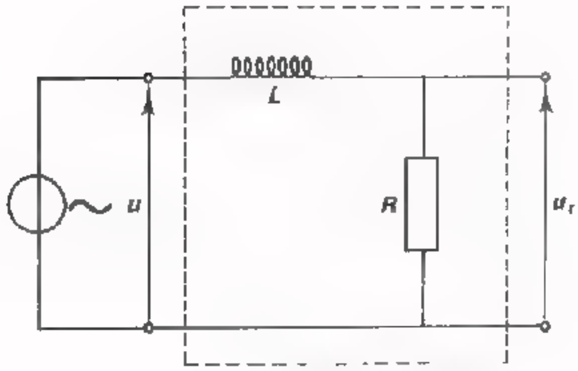
  X DEFL: "EXT"

  0-AC-DC: "AC"

- Gebruik de 15 Ω-uitgang van de generator. Stel de spanning U_{eff} in op 2 V bij f = 50 kHz. Maak een smalle, zo groot mogelijke scheve ellips zichtbaar op het scherm.
- Verander de instelling van de oscilloscoop niet tijdens de opdracht.
- Schakel de frequentie achtereenvolgens om op 5 kHz, 500 Hz en 50 Hz.
- U ziet, dat de *Y*-afwijking afneemt. Bij lagere frequenties neemt de uitgangsspanning af.
- U ziet, dat de vorm van de ellips verandert. Van "smal en scheef" bij hoge frequenties naar "breed en rechtop" bij lage frequenties.

  De fasehoek verandert dus van bijna $\boxed{}$ bij hoge frequenties naar bijna $\boxed{}$ bij lage frequenties.
- Breek de schakeling *niet* af.

HET L-R-FILTER



Bedenk eerst weer:

- Bij lage frequenties is $X_L = 2\pi fL$ zeer klein.
- Bij hoge frequenties is X_L erg groot.

Als we de wisselspanning toevoeren aan een *L R*-filter en we bekijken de spanning over de weerstand dan zien we:

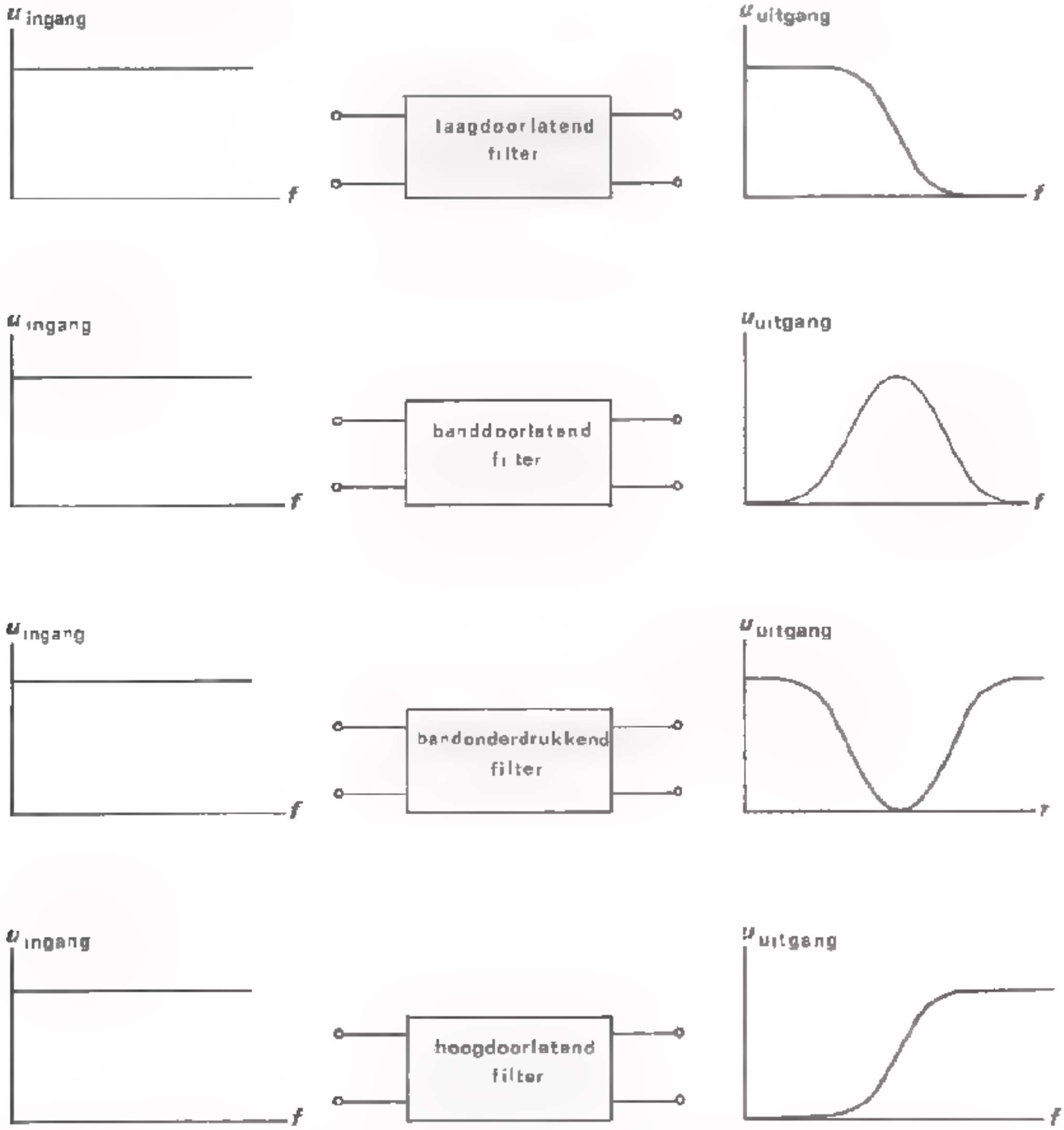
- Bij *lage* frequenties staat bijna de gehele toegevoerde spanning over de *R* en dus over de uitgang.
- Bij *hoge* frequenties staat vrijwel de gehele spanning *u* over de *L*, terwijl er over de *R* bijna niets staat. Over de uitgang staat vrijwel geen spanning meer.

Hieruit blijkt dat een *L-R*-filter een *laagdoorlatend filter* is. Zijn amplitude-frequentie-karakteristiek verloopt net zo als die van het *R-C*-filter op blad A53.9. De fasehoek tussen uit- en ingangsspanning is bij dit filter ook weer van de frequentie afhankelijk. Het zal duidelijk zijn, dat de fase-frequentie-karakteristiek juist zo verloopt als bij het *R-C*-filter op blad A53.11.

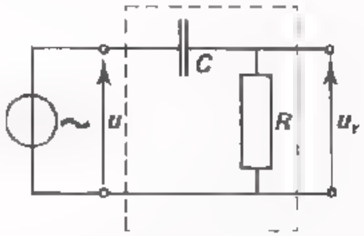
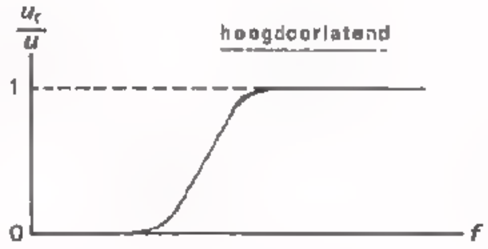
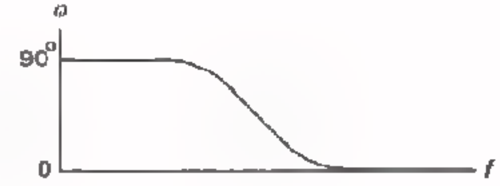
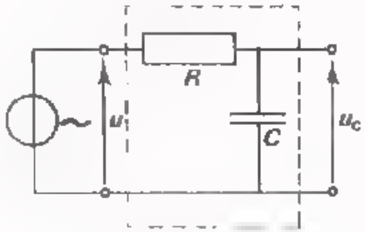
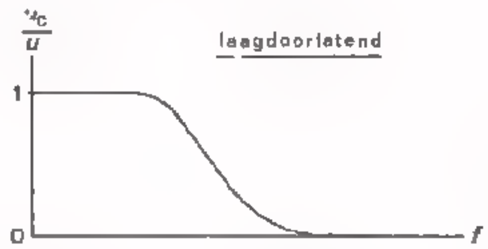
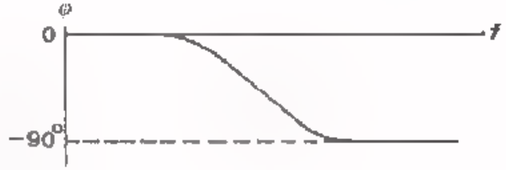
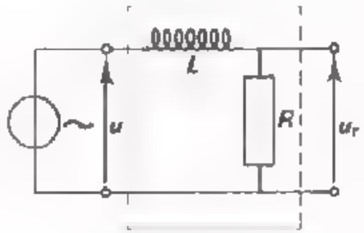
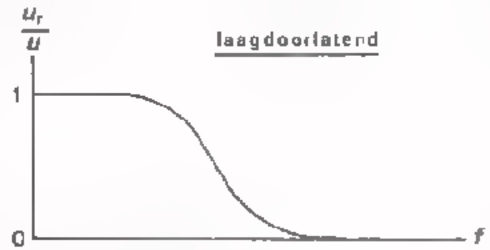
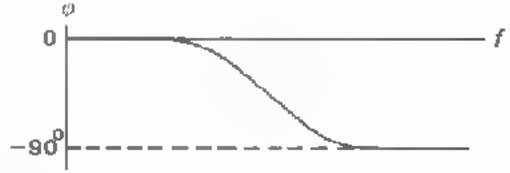
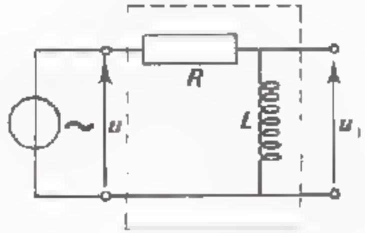
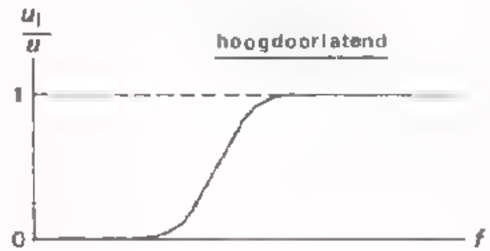
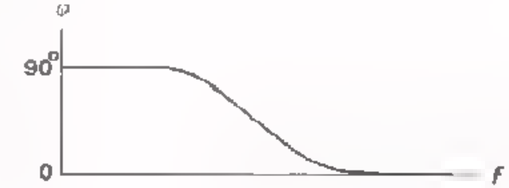
SAMENVATTING

FILTERS

Een *filter* is een schakeling, opgebouwd uit R's en C's of R's en L's of R's, C's en L's, die bepaalde wisselspanningen wel en andere wisselspanningen niet doorlaat.



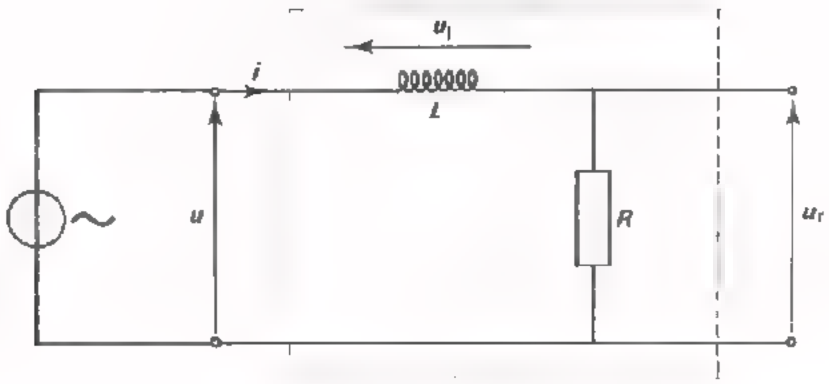
- Als u de eigenschappen van een filter wil nagaan, moet u vooraf goed bedenken:
  - De wisselstroomweerstand van een R is voor alle frequenties even groot.
  - De reactantie $\frac{1}{2\pi fC}$ van een C is bij lage frequenties zeer groot en bij hoge frequenties erg klein.
  - De reactantie $2\pi fL$ van een L is bij lage frequenties zeer klein en bij hoge frequenties erg groot.

	lage f: $R \ll \frac{1}{\omega C}$ hoge f: $R \gg \frac{1}{\omega}$		
	lage f: $\frac{1}{\omega C} \gg R$ hoge f: $\frac{1}{\omega C} \ll R$		
	lage f: $R \gg \omega L$ hoge f: $R \ll \omega L$		
	lage f: $\omega L \ll R$ hoge f: $\omega L \gg R$		

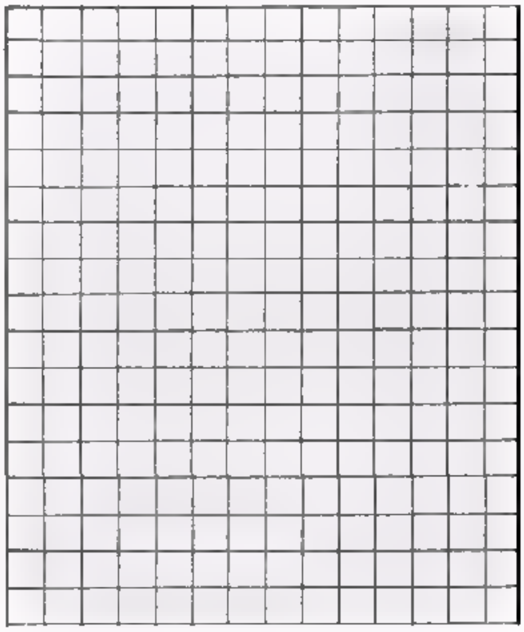
NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENING

1.



- Teken het vectordiagram van bovenstaand L-R-filter voor f = laag, voor $\omega L = R$ of $f = \frac{R}{2\pi L}$ en voor f = hoog.



- Uit de grafieken volgt dat het L-R-filter een

  laag/hoog

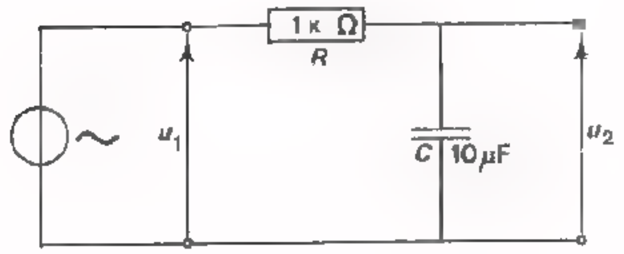
  doorlatend filter is.

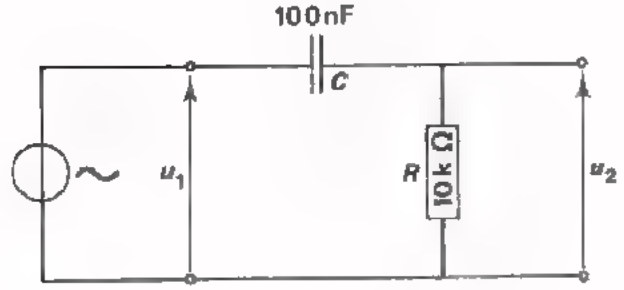
- De fasehoek φ tussen de uit- en de ingangsspanning is altijd

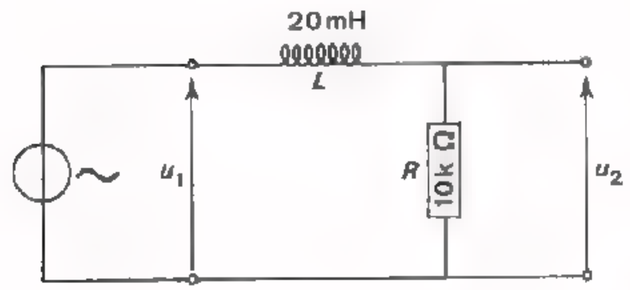
  positief/negatief

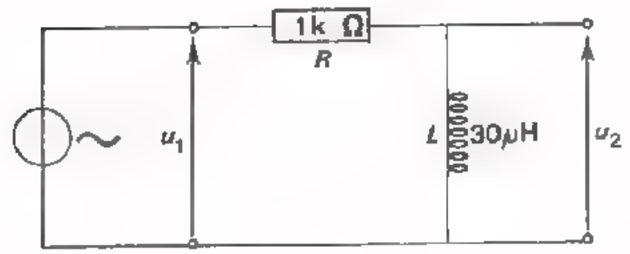
- De fasehoek φ is bijna 0^0 bij **lage/hoge** frequenties en bijna 90^0 bij **lage/hoge** frequenties.

2. Bereken voor elk van onderstaande schakelingen bij welke frequentie u_2 45° in fase verschoven is t.o.v. u_1:





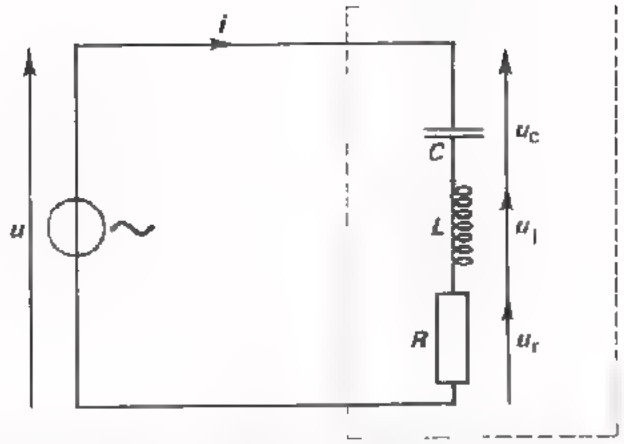




A 54

D E   S E R I E S C H A K E L I N G   V A N C, L E N R

In het voorafgaande bekeken we schakelingen,die uit twee componenten waren opgebouwd. Op deze manier ontstonden hoog- en laagdoorlatende filters.
In de vorige les hebben we reeds op het bestaan van banddoorlatende en bandonderdrukkende filters gewezen, maar deze nog niet behandeld. Daartoe moeten we het gedrag kennen van L-C-R-combinaties. In deze les behandelen we eerst de serieschakeling van een C, een L en een R; in de volgende les de parallelschakeling van deze drie componenten. In A56 komen we dan toe aan de banddoorlatende en -sperrende filters.



We onderzoeken dus het gedrag van een serieschakeling van een condensator, een spoel en een weerstand. Deze schakeling noemt men een *serie-resonantiekring* of kortweg *seriekring*.

Eerst bedenken we nog, dat:

- de reactantie van een condensator groot is bij lage frequenties en erg klein bij hoge frequenties,
- de reactantie van een spoel erg klein is bij lage frequenties en groot bij hoge,
- de wisselstroomweerstand van een R onafhankelijk is van de frequentie.

Verder, dat een L en een C tegengestelde fase-eigenschappen hebben.

- Bij een L ijlt u_1 voor op i.
- Bij een C ijlt U_c na op i.

Hoe de impedantie Z van de serieschakeling C, L en R zich bij verschillende frequenties gedraagt kan men als volgt beredeneren:

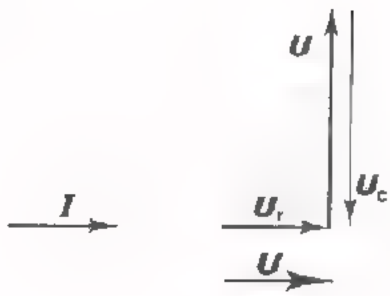
- Bij *lage* frequenties is $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ zeer groot. De impedantie van de seriekring is dus ook erg groot. De kring gedraagt zich als een condensator. We zeggen: Hij is *capacitief* .
- Bij *hoge* frequenties is $X_L = 2\pi fL$ zeer groot. De impedantie van de kring is dus ook erg groot. De kring gedraagt zich als een spoel. Hij is dan *inductief* .

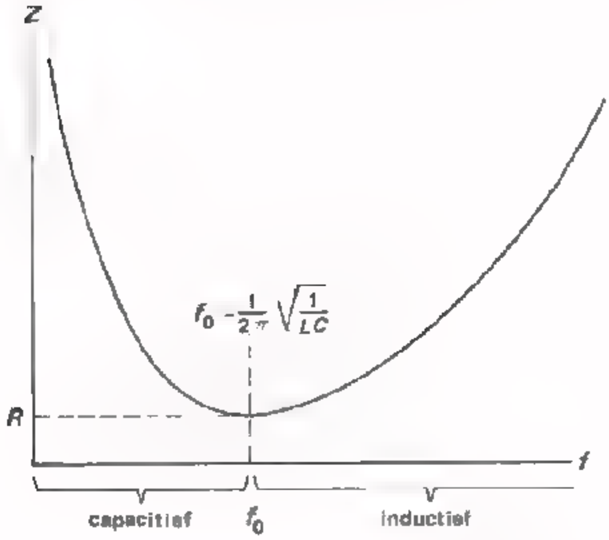
- Ergens tussen deze lage en hoge frequenties in geldt:

  $X_L = X_C$ of $\omega L = \frac{1}{\omega C}$.

  Over de L en over de C staat dan dezelfde, maar tegengestelde spanning.

  Deze spanningen heffen elkaar op. De impedantie van de kring bestaat dan alleen uit de weerstand R. De kring gedraagt zich als een "ohmse weerstand".





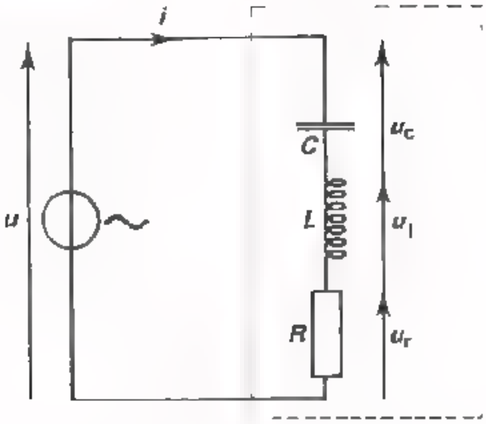
Hiernaast is tenslotte de grafiek getekend van het verloop van de impedantie Z bij toenemende frequentie.

Als $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, of $\omega^2 LC = 1$,

dus als $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$,

is de impedantie minimaal en gelijk aan de weerstand R. Deze frequentie heet *resonantiefrequentie* en wordt aangegeven met f_o.

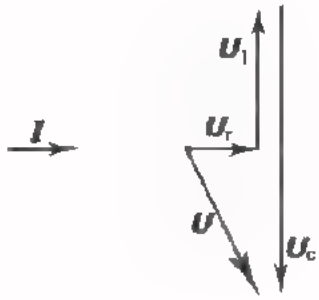
$$\boxed{f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}}$$



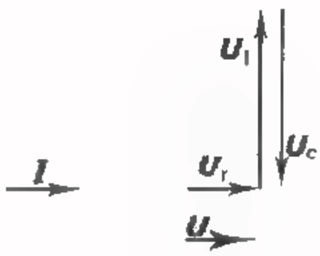
Om een helder inzicht te krijgen in de serie-resonantiekring gaan we het vectordiagram opnieuw tekenen.
We doen dit voor

- een lage frequentie
- de resonantiefrequentie f_o
- een hoge frequentie.

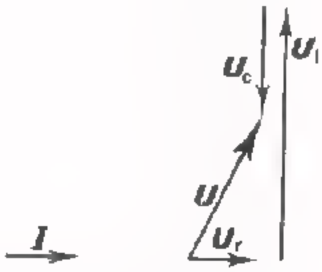
- Bij lage frequenties is $X_C > X_L$, zodat de spanning u_c groter is dan u_l. Uit het vectordiagram blijkt de totale spanning u na te ijlen op i. De seriekring gedraagt zich dus *capacitief*.



- Als $X_L = X_C$, of $f = f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$, dan zijn u_l en u_c even groot en in tegenfase. Zij heffen elkaar op, zodat de totale spanning $u = u_r$. De totale spanning u en de stroom i zijn nu in fase, zodat de kring zich gedraagt als een ohmse weerstand met de grootte R.



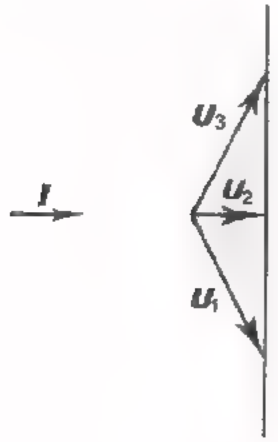
- Bij hoge frequenties is $X_L > X_C$, zodat de spanning u_l groter is dan u_c. Uit het vectordiagram blijkt de totale spanning u voor te ijlen op i. De seriekring gedraagt zich *inductief*.



Merkwaardig hierbij is, dat de spanningen u_c en u_l veel groter kunnen zijn dan de totaal toegevoerde spanning u. De verhouding van de spanning u_c of u_l tot de totaal toegevoerde spanning u bij de resonantiefrequentie noemt men de *kwaliteits- of opslingerfactor Q*:

$$\boxed{Q = \frac{u_c}{u} = \frac{u_l}{u} \text{ bij } f_o}$$

De drie vectordiagrammen van het vorig blad kunnen we in één figuur samenvatten. We tekenen dan alleen de stroom ***I*** en de totale spanningen ***U***. Ook hebben we de vectordiagrammen op dezelfde schaal getekend bij dezelfde stroom. In een samenvattende tekening kunnen we een en dezelfde ***I*** tekenen voor alle drie de gevallen. We krijgen de volgende figuur, waarin



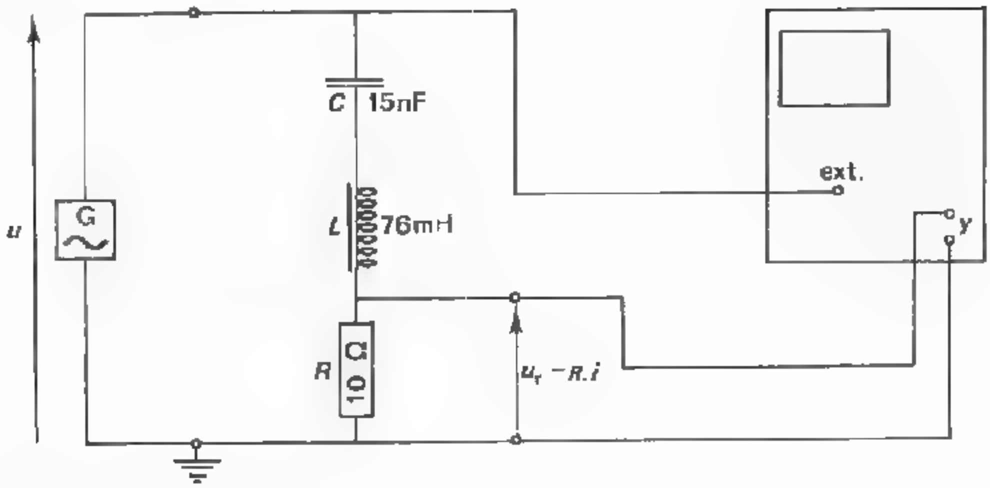
- u_1 geldt voor een lage frequentie
- u_2 geldt voor de resonantiefrequentie f_o, die optreedt als $\omega L = \frac{1}{\omega C}$
- u_3 geldt voor een hoge frequentie.

Aan de hand van dit samenvattende vectordiagram zien we het volgende:

- De pijlpunten van de u's liggen alle op een verticale rechte lijn. Hoe lager de frequentie, des te verder de pijlpunt naar beneden komt te liggen. Hoe hoger de frequentie, des te verder de pijlpunt van u naar boven schuift.
- De kleinste u treedt op bij f_o.

  Dan is het quotiënt $\frac{u}{i}$ dus ook het kleinst, d.w.z., dan is de impedantie $Z = \frac{u}{i}$ minimaal.
- Bij lage frequenties ijlt u na op i en gedraagt de seriekring zich als een condensator.
- Bij hoge frequenties ijlt u voor op i en gedraagt de seriekring zich als een spoel.
- Bij f_o zijn u en i in fase en gedraagt de seriekring zich als een weerstand.

OPDRACHT: DE STROOM DOOR EEN SERIEKRING



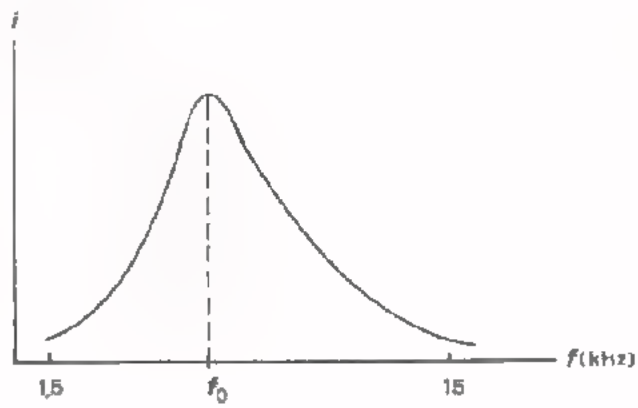
- Bouw deze schakeling.
- Voer vanaf de 15 Ω-uitgang van de generator een spanning toe: U_t = 1 V bij f = 1,5 kHz.
- Stel de oscilloscoop in op:

TRIGG: "EXT"
X-DEFL: "INT"
TIME/div: "0,2 ms"
Y-AMPL: "50 mV/div".

U ziet nu een beeld op het scherm dat de stroom i door de kring weergeeft. Begrijpt u dat?

- Varieer de frequentie van 1,5 kHz tot 15 kHz en let op de verandering van het beeld. U ziet dat i bij 0,5 kHz en bij 15 kHz klein is en ergens daar tussenin maximaal.

Merk op, dat in deze proef niet i, maar de toegevoerde spanning u constant wordt gehouden. De stroom i is dan afhankelijk van f zoals in nevenstaande grafiek is getekend. Bij f_o is Z minimaal en i dus maximaal. Deze grafiek noemt men een *resonantiekromme*.



- Bepaal f_o f_o = | |

- Bereken f_o ook met L = 76 mH en C = 15 nF

  U vindt dan f_o = | |

CONCLUSIE

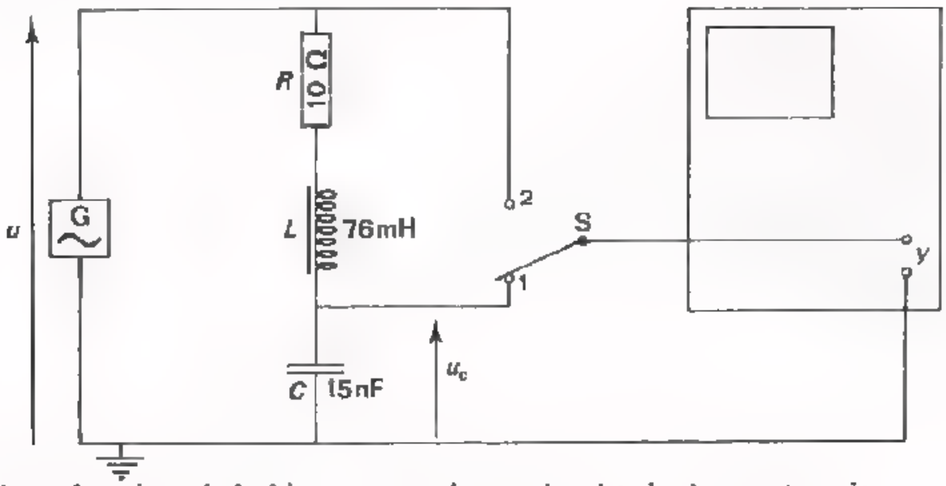
We hebben gezien dat de stroom bij f_o maximaal is. De impedantie van de kring is dan dus minimaal. Verder dat bij hogere zowel als bij lagere frequenties dan f_o de stroom kleiner is en de impedantie van de kring dus groter.

- Zet X-DEFL nu op "EXT" en verander verder niets aan de oscilloscoop. Nu wordt de spanning $u_r = R.i$ toegevoerd aan de Y-ingang en de spanning u aan de X-ingang. We zien op het scherm dus een Lissafousfiguur, aan de hand waarvan we iets kunnen zeggen over de faseverschuiving tussen u en i.

- Varieer nu de frequentie enige malen in de buurt van de resonantiefrequentie. U ziet nu bij f_o een schuin staande rechte lijn op het scherm. Dit wil zeggen, dat u en i in fase zijn. De kring gedraagt zich als een ohmse weerstand. Boven en beneden f_o ontstaat een ellips op het scherm, die bij lagere en hogere frequenties dan f_o al gauw vrijwel rechtop staat. Bij deze frequenties zijn u en i dus bijna 90° in fase verschoven.

- Breek de schakeling nog niet af.

OPDRACHT: DE OPSLINGERING VAN EEN SERIEKING



- Verander de schakeling van vorige opdracht in bovenstaande.
- Zet schakelaar S in stand 1. Stel de oscilloscoop als volgt in:

  X-DEFL: "INT"
  Y-AMPL: "10 V/div"
  TRIGG.: "INT".

- Stel de generator in op de resonantiefrequentie $f_0 \approx 4{,}7$ kHz. Regel de generatorspanning zo, dat op het scherm een spanning u_C zichtbaar wordt met een amplitude van 40 V.
- Meet de waarden van U_{ct} bij volgende frequenties en zet het verband tussen U_{ct} en f uit in een grafiek.

f (kHz)	U_{ct} (V)
1,5	
3	
4,5	
f_0	
5	
6	
10	
15	

- Meet bij de resonantiefrequentie f_0 hoe groot de amplitude U_t van de totale spanning u is. U moet daarvoor S in stand 2 zetten.

$$U_t = \boxed{\qquad\qquad}$$

Hieruit volgt, dat de opslingerfactor gelijk is aan

$$Q = \frac{U_{ct}}{U_t} = \frac{\quad}{\quad} = \boxed{\qquad\qquad}$$

We constateren zo het merkwaardige feit, dat men in een serieresonantiekring een spanning kan verkrijgen die veel groter is dan de toegevoerde spanning. Men zegt, dat de spanning is "opgeslingerd".

- Breek de schakeling nog niet af.

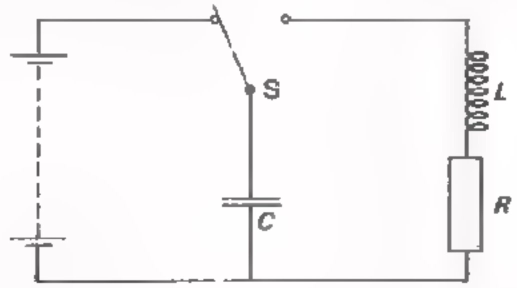
DE OPSLINGERING

In de voorafgaande opdracht hebben we ervaren, dat er bij een seriekring over de condensator een aanzienlijk grotere spanning kan ontstaan dan de spanning,die men aan de kring toevoert. Dit geschiedde bij en in de buurt van de resonantiefrequentie.

Hetzelfde geldt voor de spanning over de spoel. Bij resonantie is u_l immers gelijk aan u_c. Een resonantiekring kan men in dit opzicht vergelijken met een *schommel*. Als men een schommel één zetje geeft, gaat hij over een kleine afstand heen en weer schommelen. We weten allen uit ervaring, dat als men de schommel *juist in de pas* telkens een zetje geeft,hij al maar verder heen weer gaat slingeren. De zetjes die men geeft zijn stuk voor stuk klein, maar er vindt een hevige opslingering plaats.

Als men aan een seriekring een kleine wisselspanning toevoert, dan wordt de condensator via de spoel en de weerstand telkens geladen en ontladen. Er slingert als het ware een lading tussen de condensatorplaten heen en weer. Zorgt men er nu voor dat de elektrische lading door de toegevoerde wisselspanning *juist in de pas* heen en weer geduwd wordt, dan ontstaat ook hier een opslingering.
Over de C en over de L ontstaat dan een wisselspanning die veel groter kan zijn dan de toegevoerde wisselspanning die de "zetjes" geeft.

Het is nu nog de vraag, wat *juist in de pas* eigenlijk betekent. Dit wil zeggen in "het eigen ritme" of "de eigen frequentie" van de kring. Het eigen ritme is het ritme,waarin de lading in de kring heen en weer slingert, als men de condensator even laadt met een gelijkspanning en hem daarna op de L en R aansluit.



Ook een schommel heeft een "eigen ritme". Als men een schommel heel ver omhoog haalt en daarna loslaat, zal hij in zijn eigen ritme heen en weerslingeren. "In de pas aanduwen" is dan "in hetzelfde ritme als het eigen ritme aanduwen".

Deze eigen frequentie is de resonantiefrequentie f_o die bereikt wordt als:

$$X_L = X_C$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

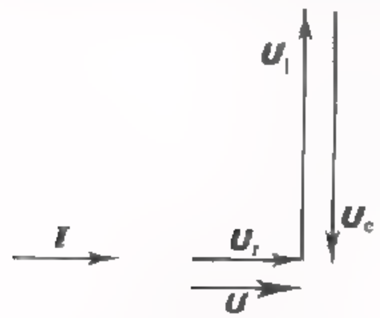
$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} \qquad \boxed{f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}}$$

De resonantiefrequentie is juist die frequentie, waarbij de heen en weer gaande lading in de pas wordt aangeduwd door de toegevoerde wisselspanning. Men zegt dan, dat de kring *in resonantie* is.

DE OPSLINGERFACTOR Q

We herhalen dat men voor een resonantiekring het begrip "opslinger-" of "kwaliteitsfactor" Q heeft ingevoerd. Hieronder verstaat men de verhouding van de opgeslingerde spanning (over de C of over de L) tot de toegevoerde spanning *bij de resonantiefrequentie*:



$$Q = \frac{u_c}{u} = \frac{u_l}{u} \text{ bij } f_o.$$

We merken op dat bij f_o de u_l en de u_c elkaar in het vectordiagram opheffen, waardoor de toegevoerde spanning u even groot is als de spanning u_r over de R.

$$\boxed{\text{Bij } f_o \text{ geldt } u = u_r}$$

Hoe groot is nu de Q?

Dit kan men als volgt afleiden.

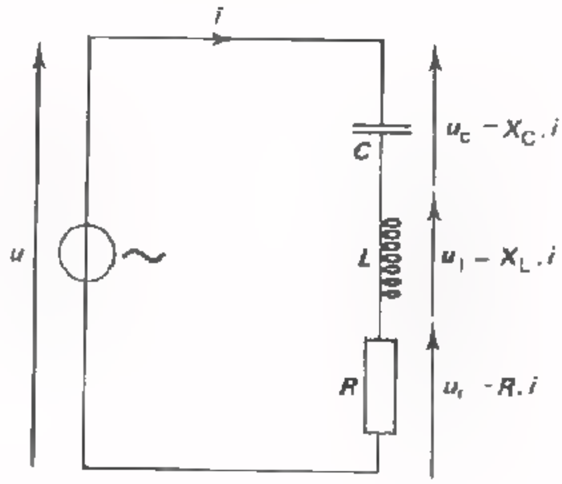
$$Q = \frac{u_c}{u} = \frac{u_c}{u_r} = \frac{X_C \cdot i}{R.i} = \frac{X_C}{R},$$

of $\boxed{Q = \frac{X_C}{R} \text{ bij } f_o}$

Een andere uitdrukking voor Q volgt op soortelijke manier:

$$Q = \frac{u_l}{u} = \frac{u_l}{u_r} = \frac{X_L \cdot i}{R.i} = \frac{X_L}{R}$$

$$\boxed{Q = \frac{X_L}{R} \text{ bij } f_o}$$

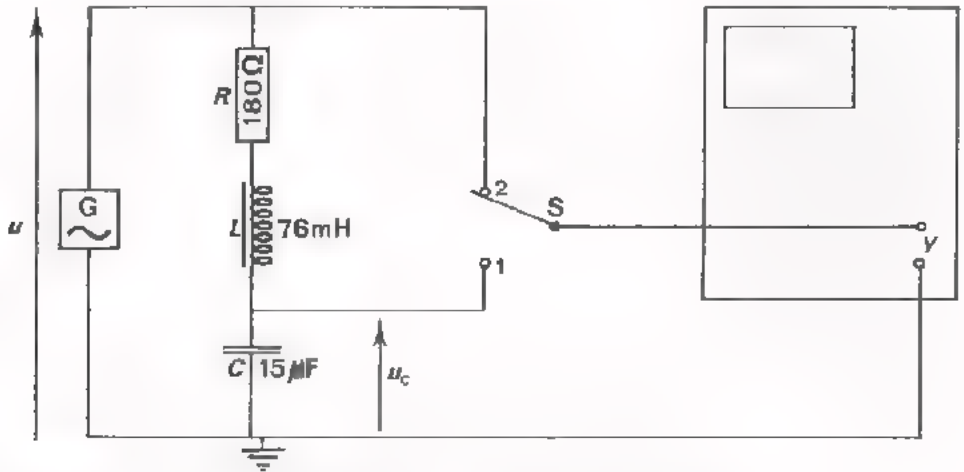


Opmerking.

Uit de gevonden formules voor Q volgt, dat Q groter is naarmate R kleiner is. Dit is ook wel logisch, want de weerstand R is als het ware de "wrijving",die de heen en weer stromende lading ondervindt. Hoe kleiner deze wrijving, des te beter kan opslingering plaatsvinden.

Vooral de spoel heeft onvermijdelijk ohmse weerstand. Als in de schakeling geen serieweerstand wordt opgenomen, dan is deze toch in de spoel altijd aanwezig. Deze verliesweerstand van de spoel bepaalt de minimale impedantie van de kring en ook de opslingering.

OPDRACHT: DE OPSLINGERING HANGT AF VAN DE AANWEZIGE R



- Vervang de weerstand van 10 Ω in vorige schakeling door een van 180 Ω
- Stel U_t in op 1 V met behulp van de oscilloscoop.
- Zet S in stand 1 en meet U_{ct} bij onderstaande frequenties.

f (kHz)	1,5	3	4,5	f_o	5	6	10	15
U_{ct}(V)								

- Zet de gevonden waarden van U_{ct} uit op blad A54.8 in de reeds eerder getekende grafiek.

  Uit de metingen volgt, dat

$$Q = \frac{U_{ct}}{U_t} = \frac{\quad}{\quad} = \boxed{\qquad\qquad}$$

CONCLUSIE

Bij vergelijking van de beide grafieken op blad A54.8 volgt, dat bij een grotere serieweerstand:

- de resonantiekromme lager wordt
- de kwaliteitsfactor van de kring kleiner wordt.

Breek de schakeling nog niet af.

OEFENING

U heeft gemeten aan een kring met L = 76 mH en C = 15 nF. Daaruit volgde dat f_o dan gelijk is aan 4,7 kHz.
Bereken nu eens bij welke frequentie de kring in resonantie is, als men de L van 76 mH vervangt door een van 38 mH.

U vindt f = $\boxed{}$

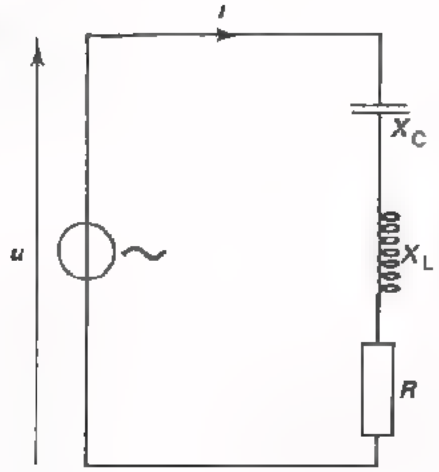
OPDRACHT: METEN VAN DE RESONANTIEFREQUENTIE

- Vervang de L van 76 mH door een van 38 mH.

- Zet S in stand 1 en bepaal f_o opnieuw. Klopt de door u berekende waarde?

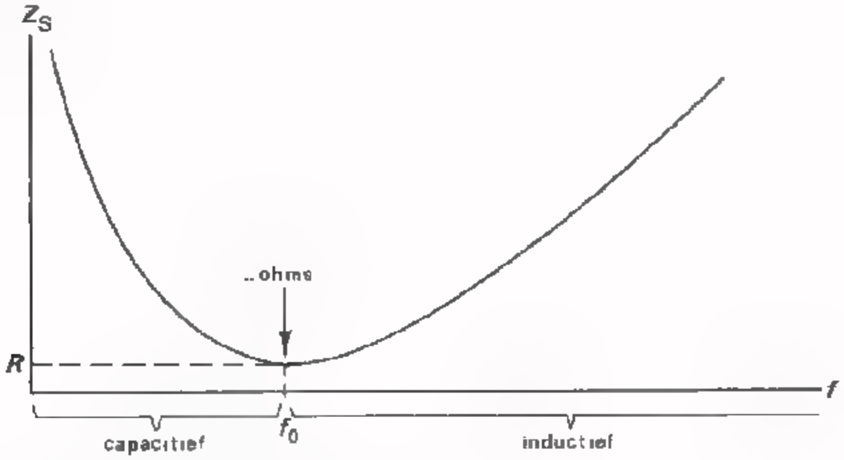
Kring in resonantie bij f_o = $\boxed{}$

SAMENVATTING

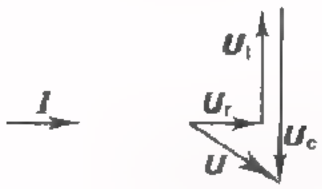


- Een *serie-resonantiekring* is de serieschakeling van een weerstand, een spoel en een condensator.
- In de praktijk is genoemde weerstand meestal de verliesweerstand van de spoel en is er geen serieweerstand apart aangebracht.

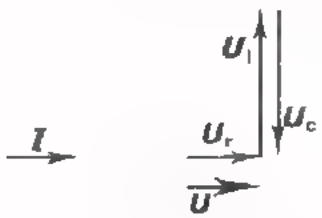
- De impedantie van een seriekring hangt als volgt af van de frequentie:



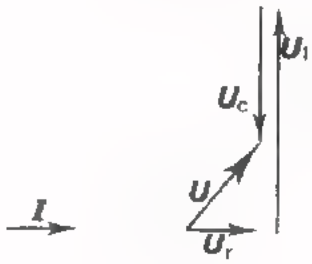
- Bij lagere frequenties is hij groot en capacitief, omdat X_C dan erg groot is.

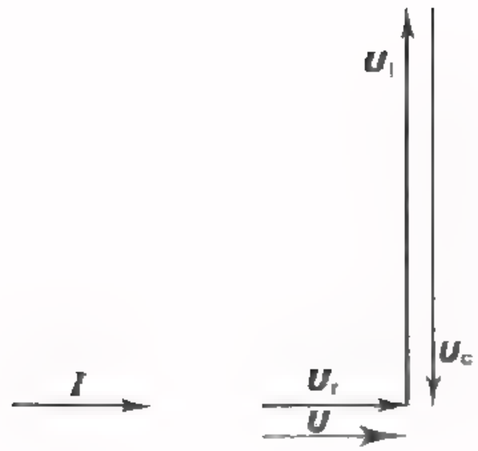


- Bij de *resonantie-frequentie* f_0 is hij minimaal en gelijk aan R, omdat de spanningen over L en C elkaar opheffen.



- Bij hoge frequenties is hij weer groot, maar inductief, omdat X_L dan erg groot is.





- $L = \frac{1}{C}$ bij de resonantie-frequentie,

  of ook $\boxed{f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}}$

  Bij resonantie geldt:

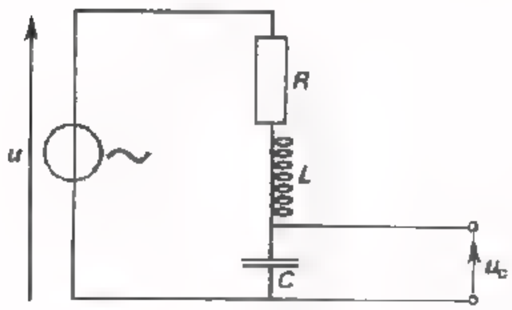
  $u_l = u_c$
  $u_r = u$
  u is in fase met i
  $Z_s = R$ = "ohms"
  $i = \frac{u}{R}$.

- Bij de resonantiefrequentie zijn de spanningen over de L en de C gewoonlijk veel groter dan de toegevoerde spanning.

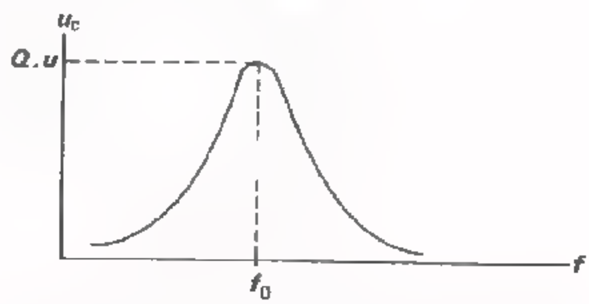
- Onder de *opslinger-* of *kwaliteitsfactor* Q verstaat men de verhouding van de opgeslingerde spanning (u_l of u_c) tot de toegevoerde spanning bij de resonantiefrequentie

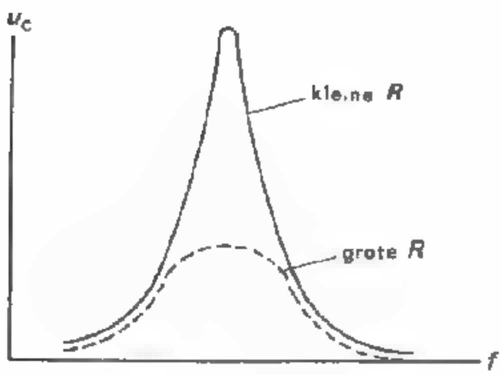
  $\boxed{Q = \frac{u_l}{u} = \frac{\omega_o L}{R}}$ of $\boxed{Q = \frac{u_c}{u} = \frac{1/\omega_o C}{R}}$

  Hierin is ω_o de resonantie-hoekfrequentie $\omega_o = 2\pi f_o$.



- De opslingering in de buurt van de resonantiefrequentie kan men goed zien aan een z.g. *resonantiekromme*. Dit is een grafiek, waarin b.v. u_c op de verticale en f op de horizontale as is uitgezet.





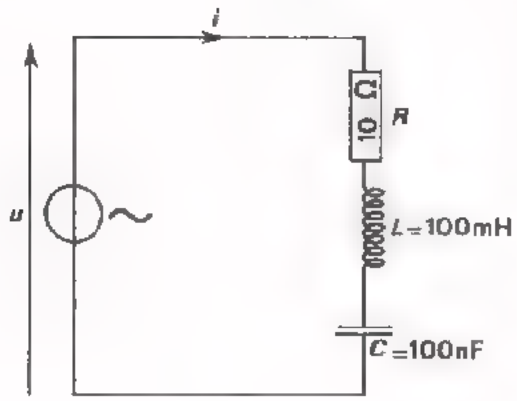
- Hoe kleiner de R van een seriekring is, des te hoger is de top van de resonantiekromme.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.



Men houdt u constant.

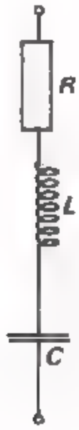
Bereken bij welke frequentie i maximaal is.

f = kHz

Bereken I_t bij deze frequentie, als U_t = 20 V.

I_t = A

2.



Men heeft een spoel van 76 mH met een inwendige verliesweerstand van 15 Ω. Hiermede moet men een seriekring maken, die een resonantiefrequentie heeft van 10 kHz.

Bereken de capaciteit van de benodigde condensator.

C = nF

3. Bereken de kwaliteitsfactor Q van de kring uit vraag 2.

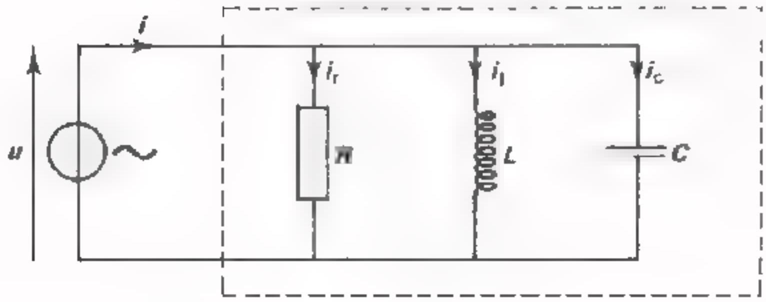
$Q \approx$

Hoe groot wordt Q als men 15 Ω met de seriekring extra in serie schakelt?

$Q \approx$

A 55 DE PARALLELSCHAKELING VAN *L*-*C* EN *R*

DE IMPEDANTIE



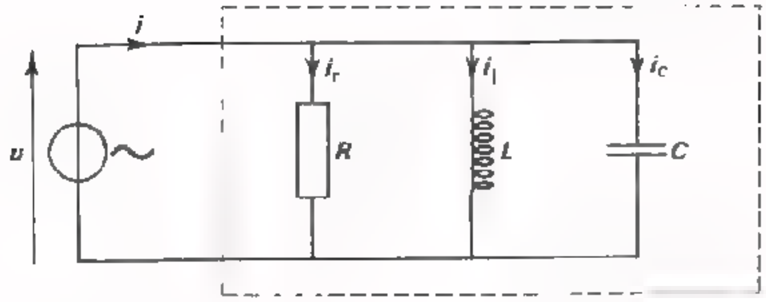
We gaan nu de *zuivere parallel-resonantiekring* behandelen. Deze bestaat uit een weerstand, een ideale spoel en een condensator.

We bedenken eerst nog even, dat:

- de wisselstroomweerstand van een *R* onafhankelijk is van de frequentie,
- de reactantie van een spoel erg klein is bij lage frequenties en zeer groot bij hoge,
- de reactantie van een condensator zeer groot is bij lage frequenties en erg klein bij hoge,
- als twee of meer van deze componenten parallel staan en één impedantie veel kleiner is dan die van elk van de andere, de impedantie van het geheel praktisch gelijk aan de kleinste is.
  Staat b.v. 1 MΩ parallel aan 100 Ω, dan is Z_{tot} praktisch gelijk aan 100 Ω.

Verder, dat een *L* en een *C* tegengestelde fase-eigenschappen hebben:

- Bij een *L* ijlt i_l 90° na op *u*.
- Bij een *C* ijlt i_c 90° voor op *u*.



Hoe de impedantie Z_p van de zuivere parallelkring zich bij verschillende frequenties gedraagt kan men als volgt beredeneren:

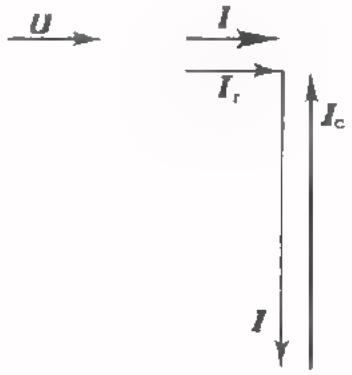
Bij *lage* frequenties is $X_L = 2\pi fL$ erg klein. De impedantie Z_p is dus ook erg klein. De parallelkring gedraagt zich als een spoel. Hij is *inductief*.

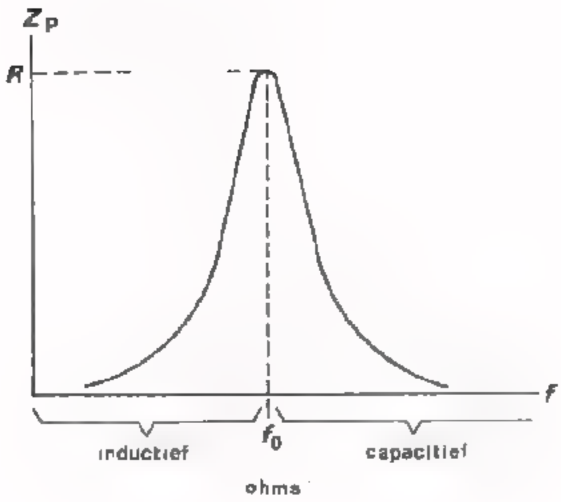
Bij *hoge* frequenties is $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ erg klein. De impedantie Z_p is dus ook erg klein. De parallelkring gedraagt zich als een condensator. Hij is *capacitief*.

Ergens tussen de zeer lage en de zeer hoge frequenties geldt:

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}.$$

De spanning over de kring veroorzaakt dan door de L en door de C een even grote, maar tegengestelde stroom. Deze stromen heffen elkaar op. De impedantie van de kring bestaat dan alleen uit de weerstand R. De kring gedraagt zich als een "ohmse weerstand".





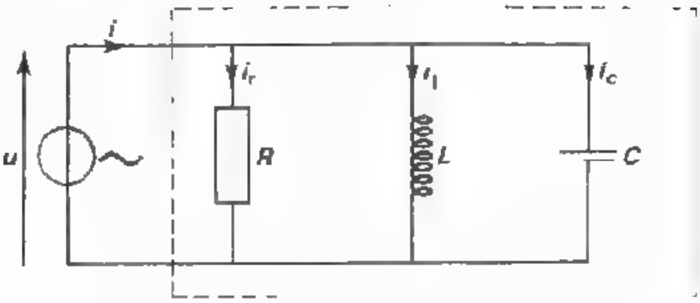
Hier is tenslotte een grafiek getekend van het verloop van de impedantie Z_p bij toenemende frequentie.

Als $L = \frac{1}{\omega C}$

of $f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$

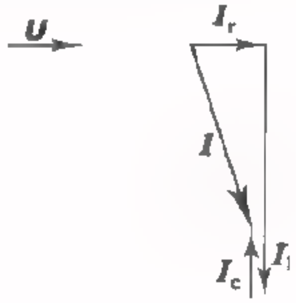
is de impedantie maximaal en "ohms". De formule voor de resonantiefrequentie is hier precies hetzelfde als bij de seriekring.

HET VECTORDIAGRAM

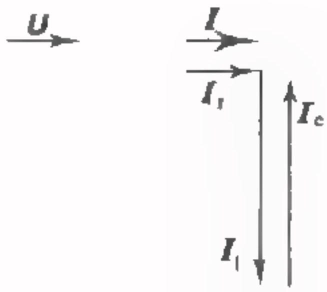


Om een helder inzicht te krijgen in de parallelkring gaan we het vectordiagram tekenen.
We doen dit weer voor:
- een lage frequentie,
- de resonantiefrequentie,
- een hoge frequentie.

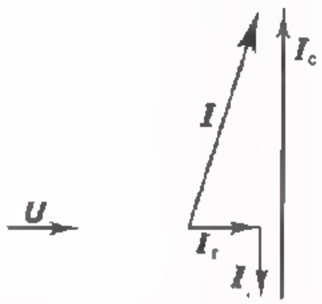
Bij lage frequenties is $\omega L < \frac{1}{\omega C}$, zodat de stroom i_l groter is dan i_c. Uit het vectordiagram blijkt de totale stroom i na te ijlen op u. De parallelkring gedraagt zich dus *inductief*.



Als $\omega L = \frac{1}{\omega C}$ of $f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$ dan zijn i_l en i_c even groot en in tegenfase. Zij heffen elkaar op, zodat de totale stroom i gelijk is aan i_r. De spanning u en de stroom i zijn nu in fase, zodat de kring zich gedraagt als een ohmse weerstand met de grootte R.



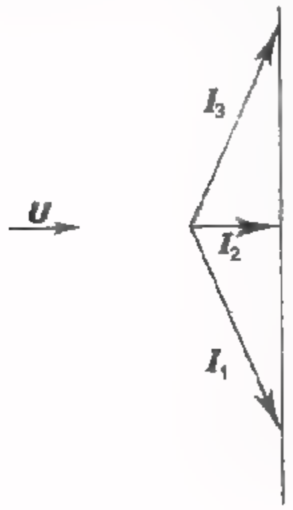
Bij hoge frequenties is $\frac{1}{\omega C} < \omega L$, zodat de stroom i_c groter is dan i_l. Uit het vectordiagram blijkt de totale stroom i voor te ijlen op u. De parallelkring gedraagt zich *capacitief*.



Merkwaardig daarbij is, dat de stromen i_l en i_c veel groter kunnen zijn dan de totale stroom i. De verhouding van de stroom i_l of i_c tot de totale stroom i bij de resonantiefrequentie, aangeduid met Q, noemt men hier de *kwaliteits-* of *opslingerfactor* :

$$\boxed{Q = \frac{i_l}{i} = \frac{i_c}{i} \text{ bij } f_0}$$

De drie vectordiagrammen van het vorig blad kunnen we in één figuur samenvatten. We tekenen dan alleen de spanning en de totaalstromen



We krijgen nevenstaande figuur, waarin:

- I_1 geldt voor een lage frequentie,
- I_2 geldt voor de resonantiefrequentie f_o die optreedt als $\omega L = \frac{1}{\omega C}$,
- I_3 geldt voor een hoge frequentie.

Hieruit zien we het volgende:

- De pijlpunten van de i's liggen alle op één verticale rechte lijn. Hoe lager de frequentie, des te verder komt de pijlpunt naar beneden te liggen. Hoe hoger de frequentie, des te verder komt de pijlpunt naar boven te liggen.
- De kleinste i treedt op bij f_o; dan is $\frac{u}{i} = Z_p$ dus het grootst.
- Bij lage frequenties ijlt i na op u en gedraagt de parallelkring zich als een spoel.
- Bij hoge frequenties ijlt i voor op u en gedraagt de parallelkring zich als een condensator.
- Bij $f = f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$ zijn u en i in fase en gedraagt de parallelkring zich als een ohmse weerstand.
- Bij f_o is: $i = \frac{u}{R}$, $i_l = \frac{u}{\omega_o L}$ en $i_c = \frac{u}{1/\omega_o C}$.

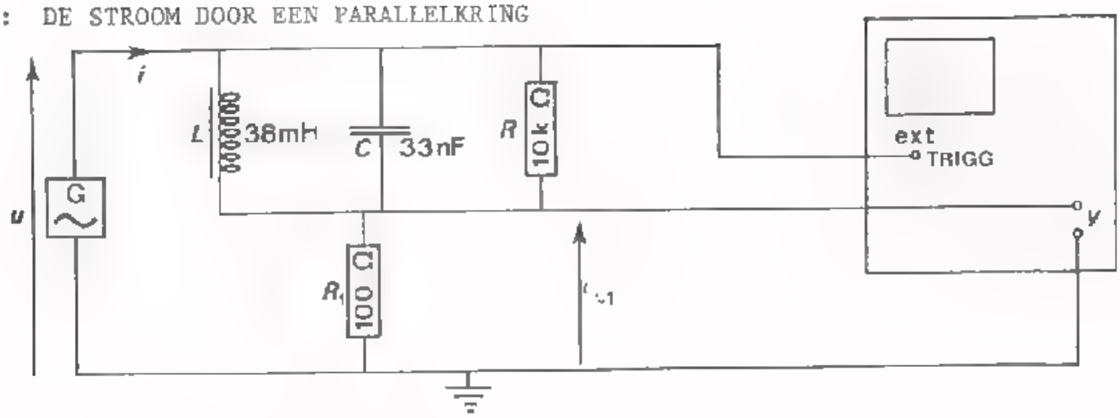
  Verder is: $Q = \frac{i_l}{i} = \frac{i_c}{i}$ bij f_o.

  Hieruit volgt:

$$Q = \frac{u/\omega_o L}{u/R} = \frac{R}{\omega_o L} \text{ en } Q = \frac{1/\frac{1}{\omega_o C}}{u/R} = \frac{R}{1/\omega_o C}, \text{ of}$$

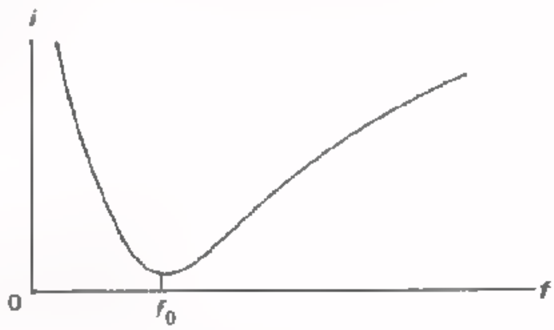
$$\boxed{Q = \frac{R}{\omega_o L} = \frac{R}{1/\omega_o C}}$$ bij een zuivere parallelkring.

OPDRACHT: DE STROOM DOOR EEN PARALLELKRING



- Bouw deze schakeling.
- Voer vanaf de 15 Ω-uitgang van de generator een spanning toe: $U_t = 6$ V bij $f = 2$ kHz.
- Stel de oscilloscoop in op: TRIGG.: "EXT"
  TIME/div: "1 ms"
  Y-AMPL: "1 V/div".

  U ziet nu op het scherm een beeld dat de totale stroom i weergeeft. Begrijpt u dat?
- Varieer de frequentie van 1,5 kHz tot 15 kHz en let op de verandering van de grootte van i.
  U ziet, dat i bij 1,5 kHz en bij 15 kHz groot is en ergens daartussenin minimaal. Dit minimum treedt op bij de resonantiefrequentie f_o.
  In de grafiek is de stroom tegen de frequentie uitgezet.

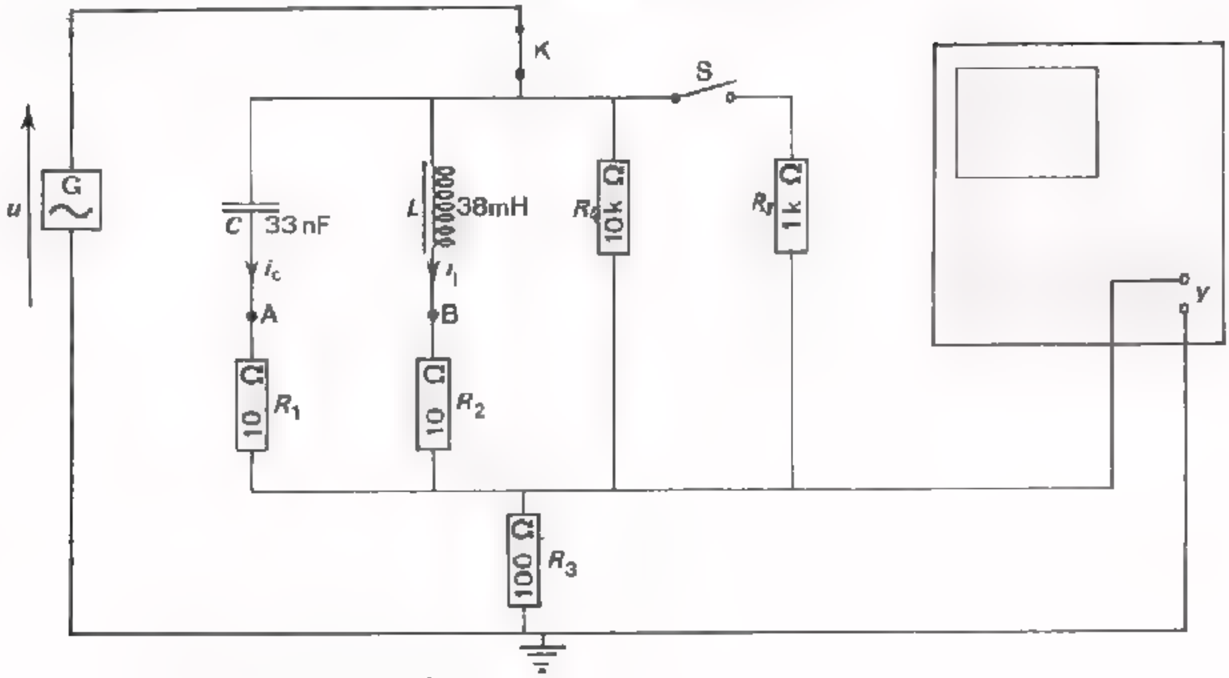


- Bepaal f_o $\qquad f_o = \boxed{}$
- Bereken f_0 nu ook met $L = 38$ mH en $C = 33$ nF.
  U vindt dan:
  $f_o = \boxed{}$
- Zet de X-deflectie op extern. Stel de horizontale beeldbreedte in op ongeveer 6 divisions d.m.v. de X-input regelaar.
  Stel f ongeveer in op f_0 en stel de Y-AMPL. in op "50 mV/div".
- Varieer de frequentie enigszins. U ziet dat er bij f_o een schuine rechte lijn ontstaat en daarbuiten een ellips.

CONCLUSIE

Bij f_o is de impedantie "ohms". Bij andere frequenties is Z inductief ($f < f_o$) of capacitief ($f > f_o$).

OPDRACHT: STROOMOPSLINGERING BIJ DE ZUIVERE PARALLELKRING



- Bouw deze schakeling.
- Stel de oscilloscoop in op:

TRIGG.:	"INT"
TIME/div:	"0,2 ms"
Y-AMPL.:	"50 mV/div"
X-DEFL.:	"INT".

- Zet S in geopende stand.
- Voer een spanning toe van ongeveer 5 V (effectieve waarde) bij $f = f_o$.
  U ziet nu een beeld, dat de totale stroom i weergeeft bij resonantie.
  Ga na hoe groot de spanning over de R_3 van 100 Ω is:

$R_3 . i$ = ☐

Hieruit volgt i = ☐

- Verwissel weerstand R_3 en kortsluiting K van plaats.
  Hierdoor veranderen de stromen in de schakeling niet, i_c en i_l kunnen dan uit u_{r1} en u_{r3} bepaald worden.
- Sluit de oscilloscoop nu aan op punt A. U ziet nu een beeld, dat de stroom i_c weergeeft. Door stroomopslingering is i_c veel groter dan i.
  Ga na hoe groot de spanning over de R_2 van 10 Ω is:

$R_2 . i_c$ = ☐

Hieruit volgt: i_c = ☐

- Dus de Q is gelijk aan: $Q =$ ☐

- Sluit de oscilloscoop aan op punt B. U ziet nu i_1. Als $f = f_0$, dan is i_1 even groot als i_c. Ook i_1 is door stroomopslingering veel groter dan i.

- Sluit S en bepaal weer de Q. ☐

  U ziet, dat Q is afgenomen.

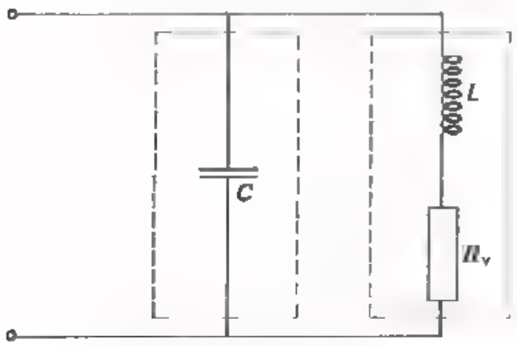
CONCLUSIE

Hoe kleiner de parallelweerstand R, des te kleiner de Q.

DE PRAKTISCHE PARALLELKRING

Tot nu toe is gesproken over een *zuivere* parallelkring, die is samengesteld uit een *ideale* spoel (zonder verliezen), een condensator en een weerstand.

In de praktijk hebben we echter niet met ideale spoelen te maken. Elke praktische spoel heeft verliezen, zoals koperverliezen en eventueel ijzerverliezen. In een schema kan men de totale verliezen altijd tekenen in de vorm van een verlicsweerstand R_v, die in serie met de zelfinductie L staat.

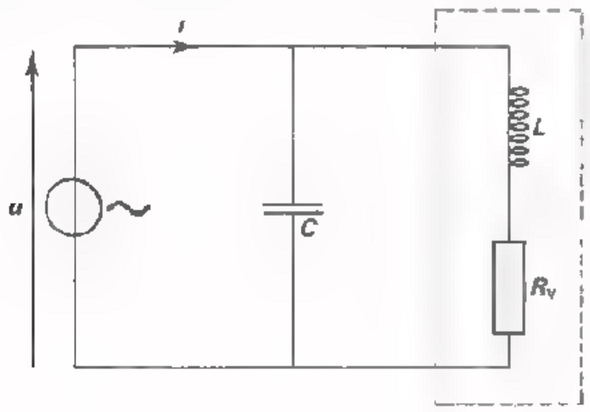


In de praktijk krijgt men vaak te maken met een kring, die bestaat uit de parallelschakeling van:
"een condensator" en "een spoel met verliesweerstand".

Deze kring noemt men de *praktische parallelkring*.

Het zou te ver voeren deze kring geheel te behandelen. We zullen daarom de voornaamste eigenschappen eerst zonder meer opsommen. Daarna zullen we nog enige metingen aan deze kring doen.

DE EIGENSCHAPPEN VAN DE PRAKTISCHE PARALLELKRING



Hiernaast is de praktische parallelkring nog eens getekend. Deze kring gedraagt zich net zo als een zuivere parallelkring. Immers:

- Bij lage frequenties is X_L zeer klein; de kring heeft een inductieve impedantie.
- Bij hoge frequenties is X_C zeer klein; de kring heeft een capacitieve impedantie.
- Bij de resonantiefrequentie gedraagt de kring zich als een ohmse weerstand; u en i zijn dan in fase.
- De resonantiefrequentie is ook hier weer:

$$\boxed{f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}}$$

- Men kan verder afleiden (voor ons is dit te moeilijk), dat de impedantie van de kring bij resonantie gelijk is aan:

$$\boxed{Z_o = \frac{L}{R_v C}}$$

L: zelfinductie, H
R_v: verliesweerstand, Ω
C: capaciteit, F
Z_o: impedantie, Ω.

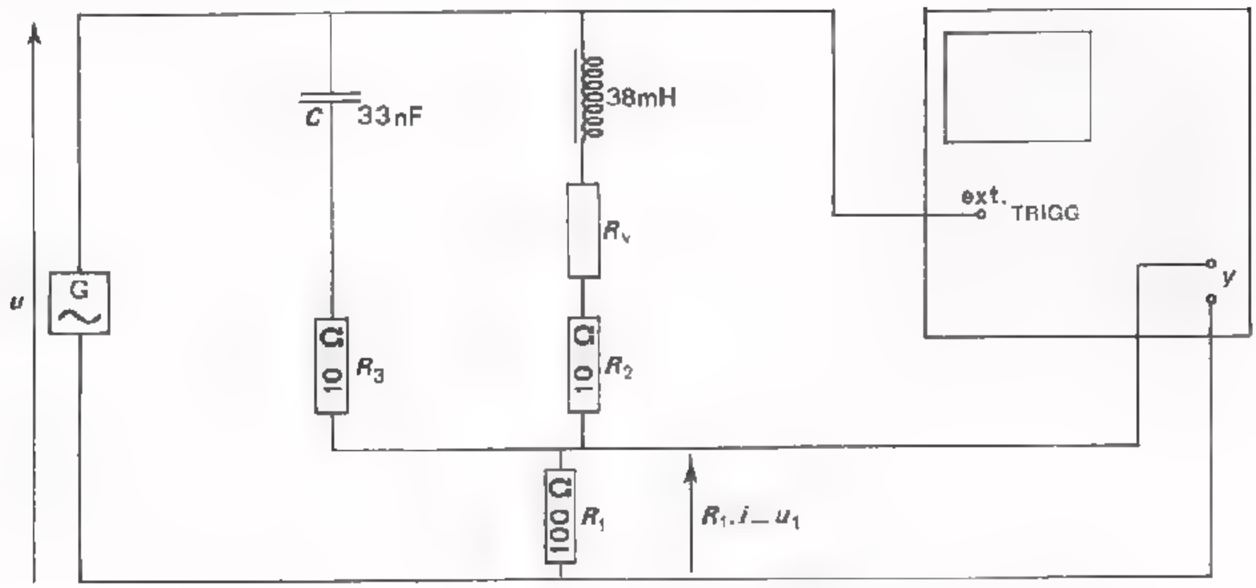
- Tenslotte is de kwaliteits- of opslingerfactor:

$$\boxed{Q = \frac{\omega_o L}{R_v}}$$

Dit is juist zo als bij de seriekring, omdat ook hier de weerstand in serie staat met de L.

OPMERKING: De verliesweerstand R_v is moeilijk direct te meten. Het is niet zonder meer dezelfde weerstand, die we met gelijkstroom kunnen meten. Ze is voor wisselstroom groter dan voor gelijkstroom, en voor hoge frequenties groter dan voor lage frequenties.

OPDRACHT: METEN AAN EEN PRAKTISCHE PARALLELKRING



- Bereken de resonantiefrequentie f_o met L = 38 mH en C = 33 nF.

  f_o = $\boxed{}$

- Bouw bovenstaande schakeling.
  Standen oscilloscoop: TRIGG.: "EXT"
  X-DEFL: "INT"
  TIME/div: "1 ms".

- Voer een spanning U_{eff} toe van ongeveer 5 V en 1,5 kHz. Varieer de frequentie van 1,5 kHz tot 15 kHz. U ziet dat de toegevoerde stroom minimaal is bij de berekende resonantiefrequentie f_o.

- Zet de X-DEFL. op "EXT".
  Zet de Y-AMPL gevoeliger en regel de horizontale beeldbreedte d.m.v. de X-inputregelaar tot het beeld binnen het scherm valt.
  Varieer de frequentie in de buurt van de resonantiefrequentie.
  U ziet dat er bij f_o een rechte lijn op het scherm ontstaat.
  Bij lagere en hogere frequenties ontstaat een ellips.
  Blijkbaar is de impedantie bij f_o een ohmse weerstand en buiten resonantie inductief of capacitief.

- Zet de X-DEFL. weer op "INT".

- We gaan nu de totale impedantie $Z_{tot} = R_1 + Z_o$ bij resonantie bepalen door de spanning u over Z_{tot} te delen door de totaalstroom i.

- Meet met de oscilloscoop de top tot top waarde van de spanning over R_1 bij resonantie.

$U_{1_{tt}} =$ [mV]

- Meet vervolgens de top tot top waarde van de totale spanning u bij resonantie.

$U_{tt} =$ [V]

- Hieruit volgt dat de totale impedantie bij resonantie gelijk is aan:

$$Z_{tot} = \frac{u}{i_{tot}} = \frac{u}{\frac{u_1}{R_1}} = \frac{u}{u_1} \times R_1 = \frac{\quad}{\quad}\, 100\ \Omega$$

of $Z_{tot} =$ [ ]

Dus: $Z_o \approx$ [ ]

- Tenslotte gaan we de kwaliteit Q bepalen door de spoelstroom (door R_2) en de toegevoerde stroom (door R_1) bij resonantie te bepalen en op elkaar te delen.

- Meet bij f_o de spanning over R_2 en bereken de spoelstroom i_1 bij f_o.

$i_1 . R_2 =$ [mV]

$i_1 =$ [mA]

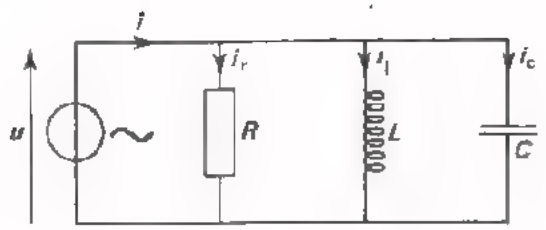
- Meet bij f_o de spanning over R_1 en bereken de toegevoerde stroom i.

$i . R_1 =$ [mV]

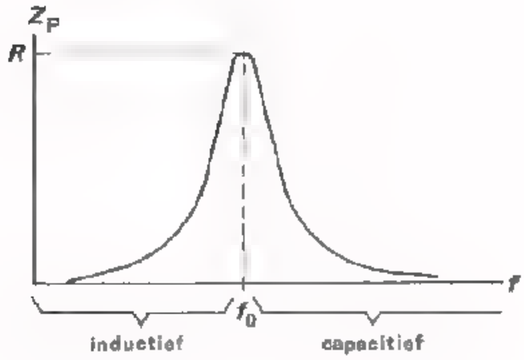
$i =$ [mA]

- Hieruit volgt:

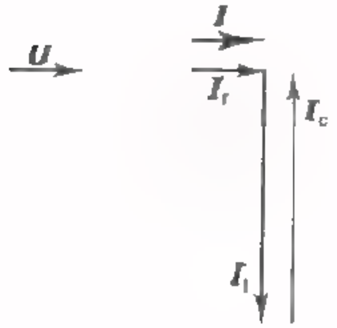
$$Q = \frac{i_1}{i} = \qquad = \qquad$$ [ ]



- Een *zuivere parallelkring* is een parallelschakeling van een weerstand, een condensator en een ideale spoel (d.i. een spoel zonder verliezen).



- De impedantie van een zuivere parallelkring is:
  - Bij *lage* frequenties klein en inductief; X_L is dan erg klein.
  - Bij *hoge* frequenties klein en capacitief; X_C is dan erg klein.
  - Bij de *resonantiefrequentie* f_o maximaal en gelijk aan R: de stromen door de C en de L heffen elkaar dan op.



- Bij de resonantiefrequentie geldt:

$\omega L = \frac{1}{\omega C}$, zodat:

$$\boxed{f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}}$$

Bij resonantie geldt:

$i_l = i_c$
$i_r = i$
i is in fase met u
$Z_p = R$.

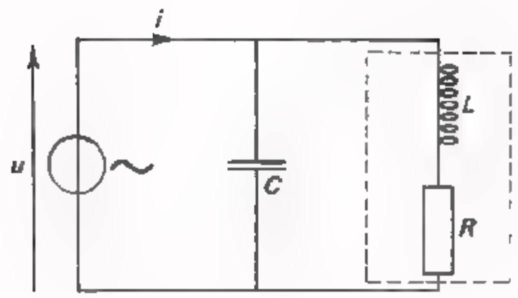
- Bij de resonantiefrequentie zullen de stromen door de L en de C gewoonlijk veel groter zijn dan de totaal toegevoerde stroom i.

- Onder de *opslingerfactor* of *kwaliteitsfactor* Q verstaat men de verhouding van de opgeslingerde stroom (i_l of i_c) tot de toegevoerde stroom i bij de resonantiefrequentie.

$$\boxed{Q = \frac{i_l}{i} = \frac{R}{\omega_o L}} \qquad \boxed{Q = \frac{i_c}{i} = \frac{R}{1/\omega_o C}}$$

Hierin is $\omega_o = 2\pi f_o$.

- Hoe kleiner de weerstand R van de zuivere parallelkring is, des te kleiner is de kwaliteit Q van de kring.



- Een *praktische parallelkring* is de parallelschakeling van een condensator en een niet-ideale spoel (d.i. een spoel met verliezen).

- Voor deze parallelkring geldt:
  - De impedantie is:
    klein bij lage frequenties omdat dan X_L = klein;
    groot in de buurt van resonantie;
    klein bij hoge frequenties omdat dan X_C = klein.
  - Resonantie treedt op bij $\boxed{f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}}$
  - Bij resonantie geldt de impedantie is "ohms" en gelijk aan:

$$\boxed{Z_o = \frac{L}{R_v \cdot C}}$$

L in H
R_v in Ω
C in F
Z_o in Ω.

  - De kwaliteit is de verhouding van spoelstroom of condensatorstroom tot toegevoerde stroom bij resonantie:

$$Q = \frac{i_l}{i} \text{ bij } f_o$$

of $$Q = \frac{i_c}{i} \text{ bij } f_o$$

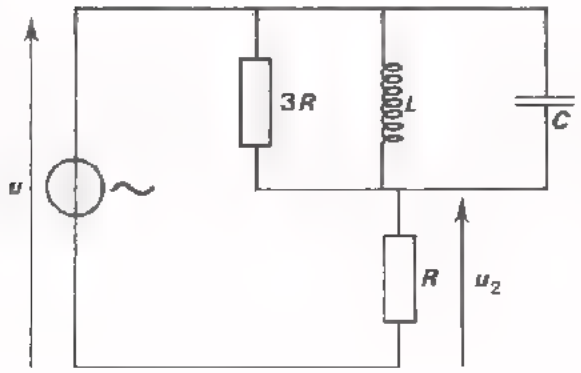
en daarbij is: $\boxed{Q = \frac{\omega_o L}{R_v}}$ of $\boxed{Q = \frac{1/\omega_o C}{R_v}}$

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

1.



u = 40 V

L = 4 mH

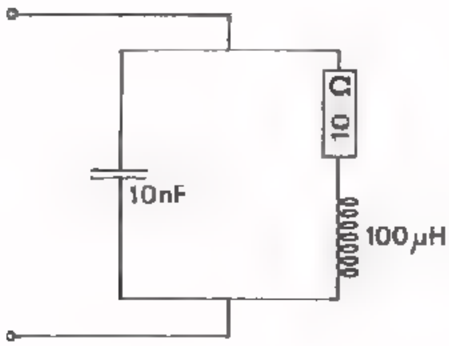
C = 25 nF

R = 100 kΩ

Bereken bij welke frequentie u_2 gelijk is aan 10 V.

f = kHz

2.



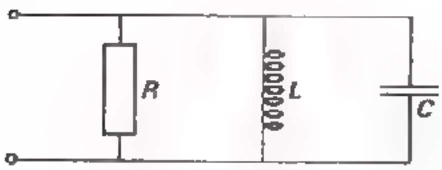
Bereken van deze resonantiekring: f_o, Q en Z_o.

f_o = kHz

Q =

Z_o = kΩ

3.



L = 16 mH

C = 0,25 nF

Q = 20

Bereken de weerstand R.

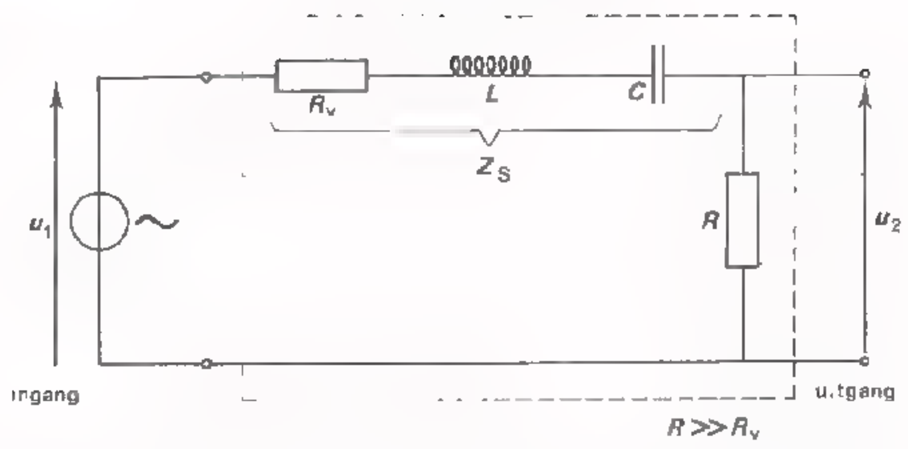
R = kΩ

A 56 BANDDOORLATENDE EN BANDSPERRENDE FILTERS

De in het voorafgaande behandelde resonantiekringen kan men gebruiken als banddoorlatend of bandsperrend filter door ze te combineren met een weerstand. Een banddoorlatend filter laat niet alleen de resonantiefrequentie f_o door, maar ook frequenties in de buurt van f_o, al zijn deze wel iets verzwakt. Het filter laat dus een frequentiegebiedje door: een frequentieband. Hoe breed deze frequentieband is hangt af van de vorm van de resonantiekromme en dus van de Q van de kring. Hoe hoger de kwaliteitsfactor Q van de kring is, des te smaller is de doorgelaten frequentieband.

Iets dergelijks geldt ook voor bandonderdrukkende filters.

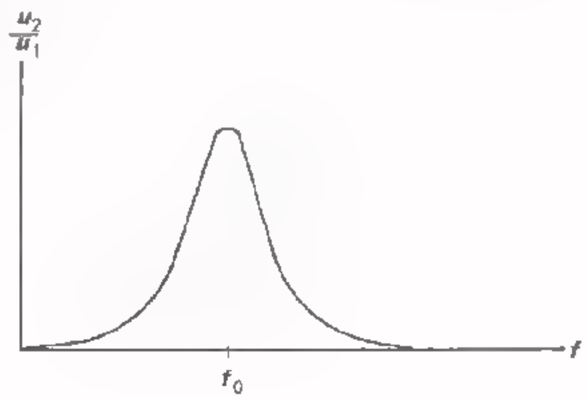
In deze les zullen we enkele van deze filters bespreken en in opdrachten hun eigenschappen bekijken.



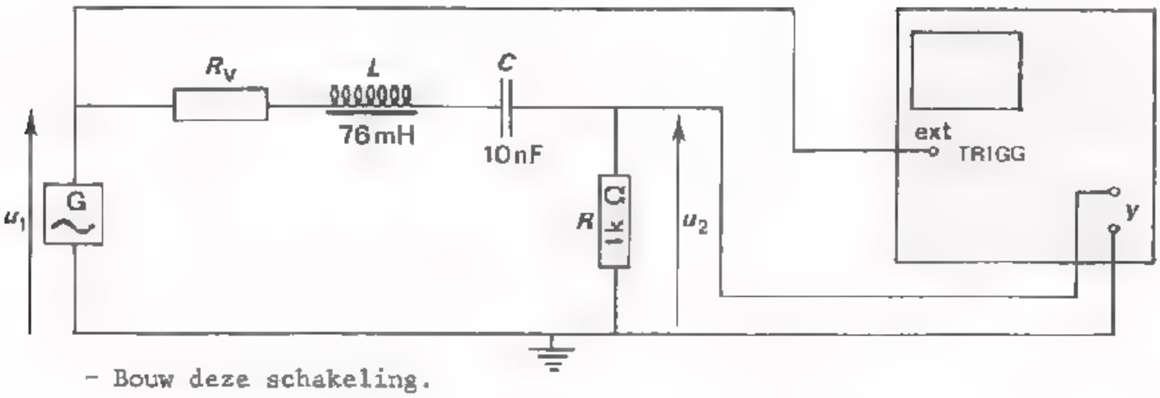
In deze schakeling zien we een seriekring bestaande uit een C en een L met zijn verliesweerstand R_v. Deze kring is met een weerstand R gecombineerd tot een filter. Het filter dat zo ontstaat is een *banddoorlatend filter*. Dit is als volgt in te zien.

- Bij lage frequenties is de impedantie van de seriekring $Z_s >> R$. De ingangsspanning u_1 staat bijna geheel over Z_s en over R staat dus bijna niets.
- Ook bij hoge frequenties is de impedantie van de seriekring $Z_s >> R$.
- Ergens tussen de lage en de hoge frequenties ligt de resonantiefrequentie f_0 van de kring. Bij f_0 is de impedantie Z_s klein en gelijk aan de weerstand R_v. Zorgt men ervoor dat R groot is ten opzichte van R_v, dan komt bijna de gehele ingangsspanning u_1 over de uitgang.

Samenvattend kunnen we zeggen, dat dit filter alleen frequenties doorlaat in de buurt van de resonantiefrequentie van de seriekring.
Het is dus een *banddoorlatend filter*.



OPDRACHT: METEN AAN EEN BANDDOORLATEND FILTER



- Bouw deze schakeling.
- Stel de oscilloscoop als volgt in: TRIGG.: "EXT"
  X-DEFL.: "INT"
  Y-AMPL.: "5 V/div".
- Voer vanuit de 15 Ω-uitgang van de generator een spanning u_1 toe met een frequentie gelijk aan f_o van de kring.
- Varieer de frequentie van u_1 tussen 1,5 kHz en 15 kHz. U ziet dan dat u_2 in de buurt van f_o groot is en buiten resonantie veel kleiner. Het filter is inderdaad een *banddoorlatend filter*.

OPMERKING

De seriekring, gevormd door de condensator en de spoel met zijn verlies-weerstand R_v heeft een bepaalde opslingerfactor Q, die gelijk is aan $\frac{\omega_o L}{R_v}$.
Deze Q is echter niet bepalend voor de breedte van de door te laten frequentieband. In serie met R_v, L en C is n.l. nog de weerstand R van 1 kΩ geschakeld, die een vergroting van de totale weerstand van de kring tot $R_v + R$ betekent. De breedte van de door te laten band wordt dan ook bepaald door een andere Q, n.l.:

$$Q_{tot} = \frac{\omega_o L}{R_v + R}.$$

Deze Q is lager dan die van de kring zelf en de doorgelaten band is breder.

- Varieer de frequentie nog eens van 1,5 kHz tot 15 kHz en lees de frequenties f_1 en f_2 af waarbij $u_2 \approx \frac{1}{2} u_{2_{max}}$.

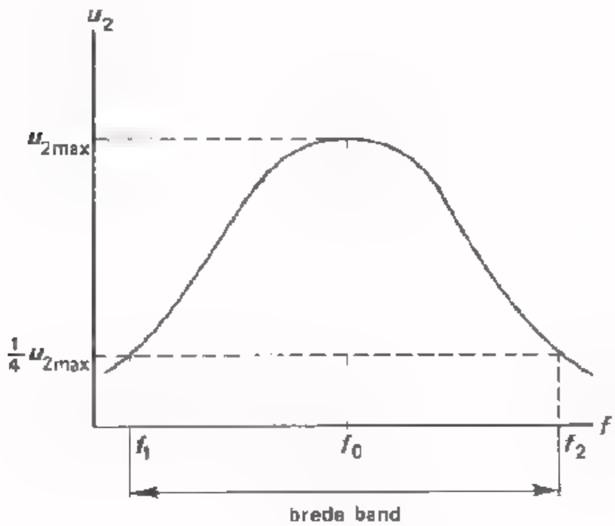
f_1 = [kHz] en f_2 = [kHz]

Dus: $f_2 - f_1$ = [kHz]

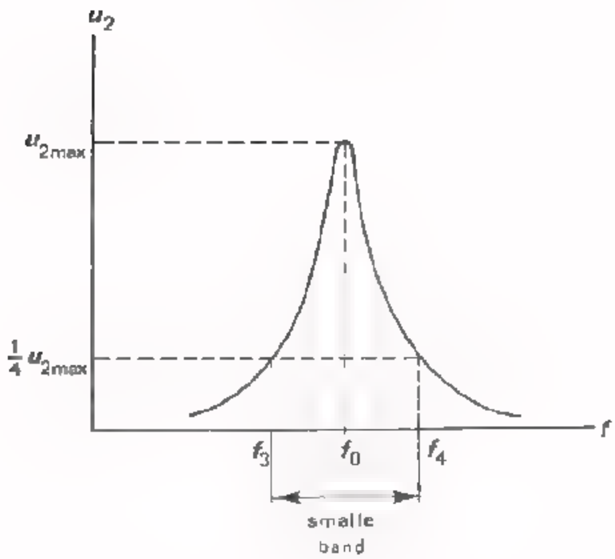
- Vervang R van 1 kΩ door een R van 100 Ω en lees de frequenties f_3 en f_4 af waarbij $u_2 = \frac{1}{4}\, u_{2_{max}}$.

f_3 =	kHz	en	f_4 =	kHz
Dus: $f_4 - f_3$ =	kHz			

Wat hebben we nu in het laatste deel van de opdracht gedaan?

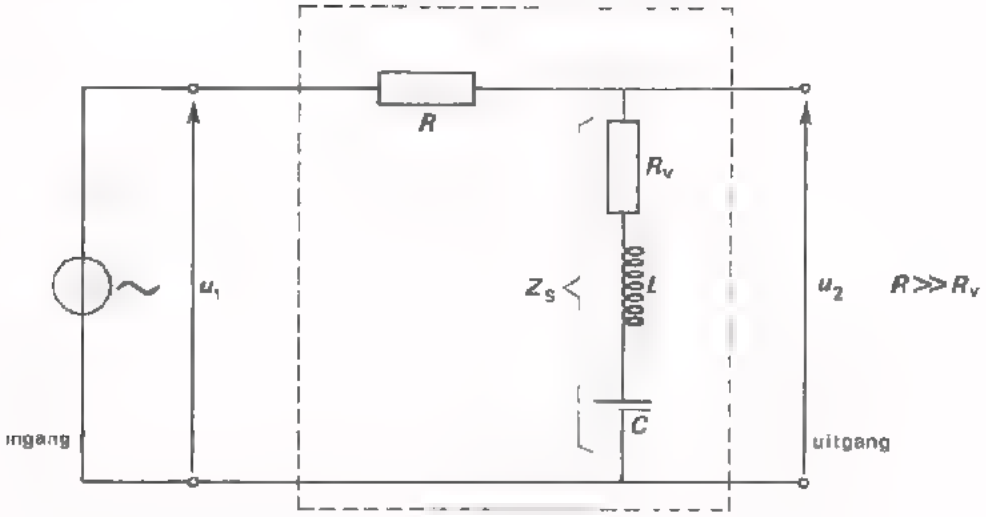


Eerst hebben we de serieresonantiekring gecombineerd met een weerstand R = 1 kΩ. Op $\frac{1}{4}$ van de maximale waarde van u_2 hebben we de breedte van de doorgelaten frequentieband gemeten.



Daarna hebben we de weerstand van 1 kΩ vervangen door R = 100 Ω. Wederom hebben we de breedte van de band gemeten bij $\frac{1}{4}\, u_{2_{max}}$. De totale Q is nu groter, zodat de resonantiekromme scherper is. De breedte van de band is nu ook aanzienlijk kleiner.

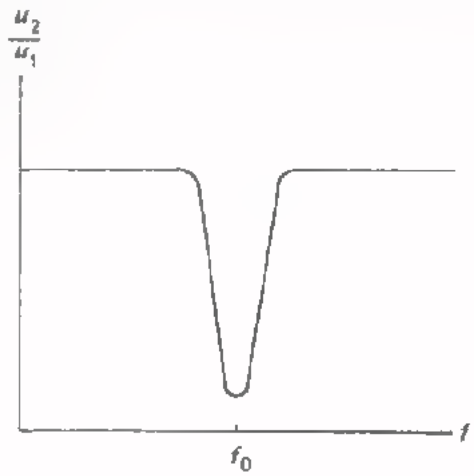
EEN BANDONDERDRUKKEND FILTER



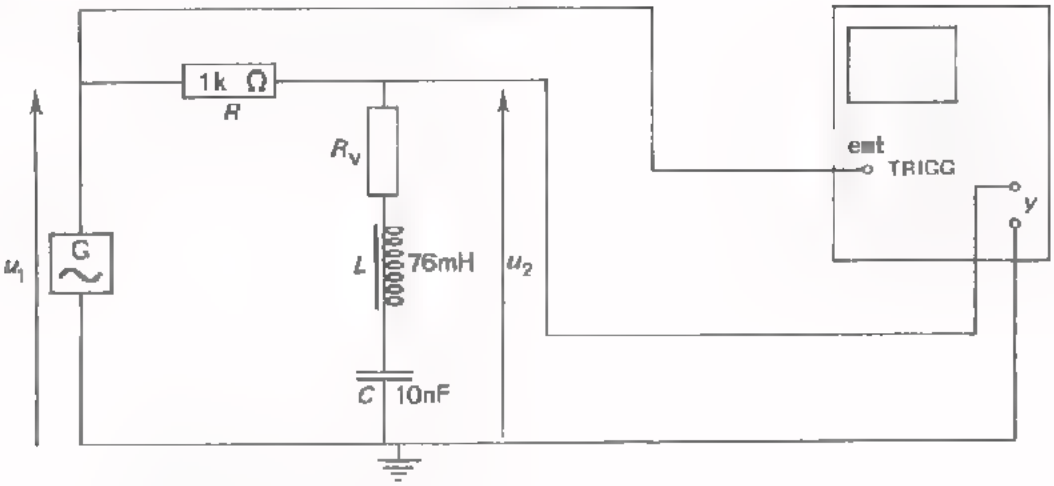
Hier is een weerstand R met een seriekring gecombineerd tot een *bandonderdrukkend filter*. Dit is als volgt gemakkelijk in te zien.

- Bij lage frequenties is de impedantie van de kring $Z_s >> R$. De ingangsspanning u_1 staat bijna geheel over Z_s, dus aan de uitgang van het filter.
- Bij hoge frequenties geldt ook $Z_s >> R$. Bijna de gehele u_1 staat weer over de seriekring aan de uitgang.
- Ergens tussen de lage en hoge frequenties ligt de resonantiefrequentie f_o van de kring. Bij f_o is de impedantie Z_s minimaal en gelijk aan de weerstand R_v. Zorgt men ervoor, dat R_v klein is ten opzichte van R, dan komt er bijna geen spanning over de uitgang van het filter.

Samenvattend kunnen we zeggen, dat dit filter alleen frequenties onderdrukt in de buurt van de resonantiefrequentie van de seriekring.
Het is dus een *bandonderdrukkend filter*.



OPDRACHT: METEN AAN EEN BANDONDERDRUKKEND FILTER



- Bouw deze schakeling.
- Houd de instelling van de oscilloscoop gelijk aan die van de vorige opdracht.
- Voer vanuit de 15 Ω-uitgang van de generator een spanning u_1 toe met een frequentie $f = 1,5$ kHz. Voer de frequentie langzaam op tot 15 kHz. U ziet dat u_2 in de buurt van f_0 zeer klein is en daarbuiten veel groter. Het filter is inderdaad een *bandonderdrukkend filter.*

OPMERKING

Ook nu is $Q_{tot} = \frac{\omega_0 L}{R_v + R}$ bepalend voor de breedte van de te sperren frequentieband.
Hoe kleiner Q_{tot} des te breder deze band.

- Varieer f nog eens en lees de frequenties f_1 en f_2 af, waarbij $u_2 = 0,75\ u_{2_{max}}$.

f_1 = [kHz] en f_2 = [kHz]

Dus: $f_2 - f_1$ = [kHz]

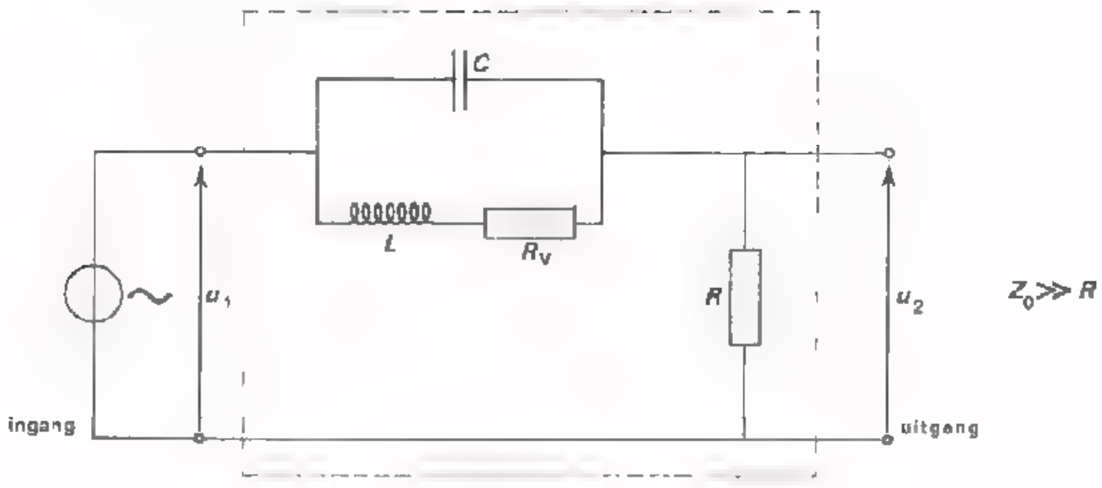
- Vervang R van 1 kΩ door een weerstand van 100 Ω. Lees f_3 en f_4 af, waarbij $u_2 = 0,75\ u_{2_{max}}$.

f_3 = [kHz] f_4 = [kHz]

Dus: $f_4 - f_3$ = [kHz]

We zien dus dat de breedte van de onderdrukte band groter wordt als men de weerstand R vergroot. De kwaliteitsfactor Q wordt dan immers kleiner.

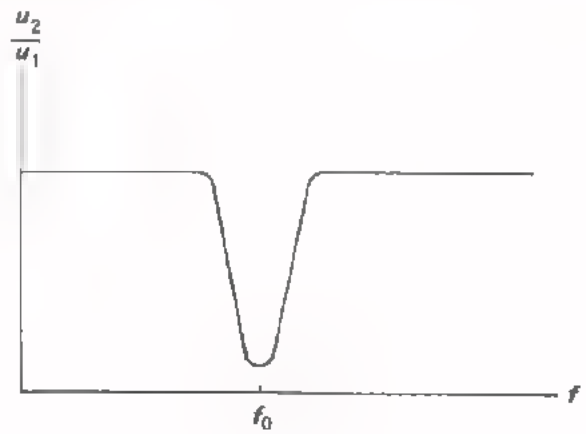
NOG EEN BANDONDERDRUKKEND FILTER



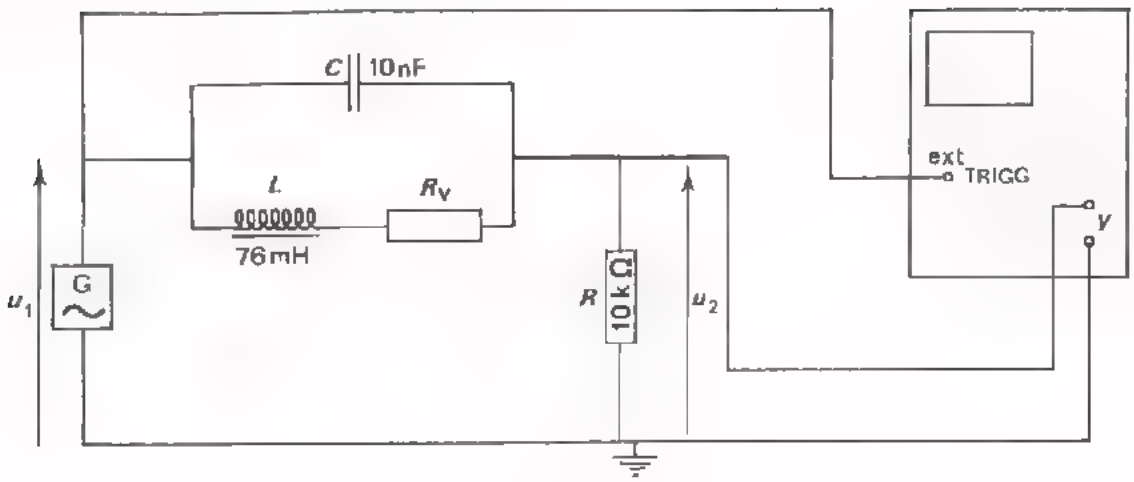
Hier is een ander voorbeeld van een bandonderdrukkend filter weergegeven. Een parallelkring is gecombineerd met een weerstand R. Dat dit een bandonderdrukkend filter is, kan men gemakkelijk inzien. Immers:

- Bij *lage* frequenties is de impedantie van de spoeltak veel kleiner dan R, zodat bijna de gehele u over de R komt te staan en wordt doorgegeven.
- Bij *hoge* frequenties is de reactantie van de condensator veel kleiner dan R, zodat ook dan bijna de gehele u over de R komt te staan en wordt doorgegeven.
- In de buurt van f_0 is de Z van de kring veel groter dan R, zodat bijna de gehele u over de kring komt te staan en over de R bijna niets meer.

De conclusie is dus, dat alle frequenties worden doorgegeven, behalve die in de buurt van f_0. Het filter is dus *bandonderdrukkend.*



OPDRACHT: METEN AAN EEN BANDONDERDRUKKEND FILTER



- Bouw deze schakeling.

- Voer een spanning u toe vanuit de 15 Ω-uitgang van de generator. Kies de frequentie dicht bij de resonantiefrequentie. Maak u_2 zichtbaar met TRIGG. "EXT" en TIME/div. op "5 ms".

- Varieer f tussen 1,5 kHz en 15 kHz. U ziet dat u_2 in de buurt van f_o klein is en daarbuiten veel groter. .

OPMERKING:

De breedte van de onderdrukte frequentieband hangt weer af van de kwaliteitsfactor.
Deze wordt nu niet alleen bepaald door $Q = \frac{\omega_o L}{R_v}$, maar door Q_{tot}, die in hoogdzaak afhangt van de weerstand R.
Bij benadering geldt: $Q_{tot} = \frac{\omega_o L}{R}$.

- Varieer f nog eens en lees de frequenties f_1 en f_2 af, waarbij $u_2 = 0{,}75\ u_{2_{max}}$.

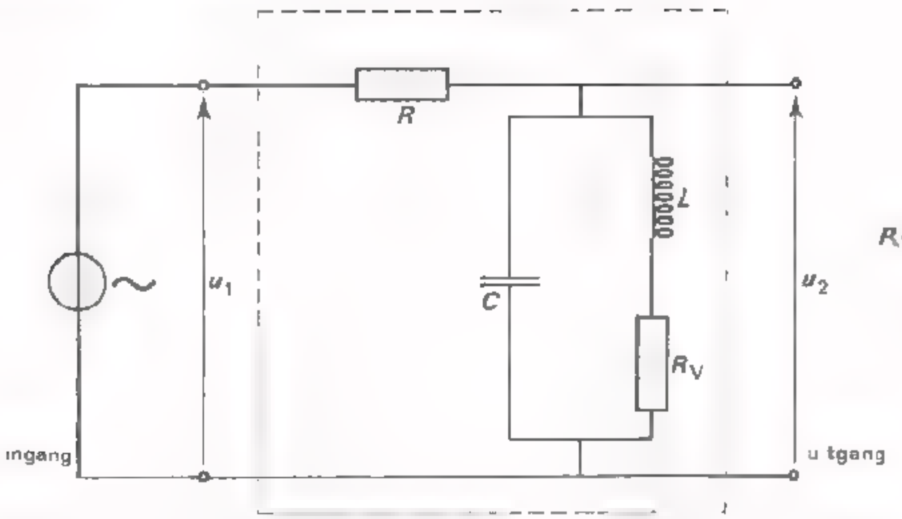
f_1 = [kHz] en f_2 = [kHz]

Dus: $f_2 - f_1$ = [kHz]

- Vervang R van 10 kΩ door een R van 3,3 kΩ. Varieer f weer en lees de frequenties f_3 en f_4 af, waarbij $u_2 = 0{,}75\ u_{2_{max}}$.

f_3 = [kHz] f_4 = [kHz]

Dus: $f_4 - f_3$ = [kHz]



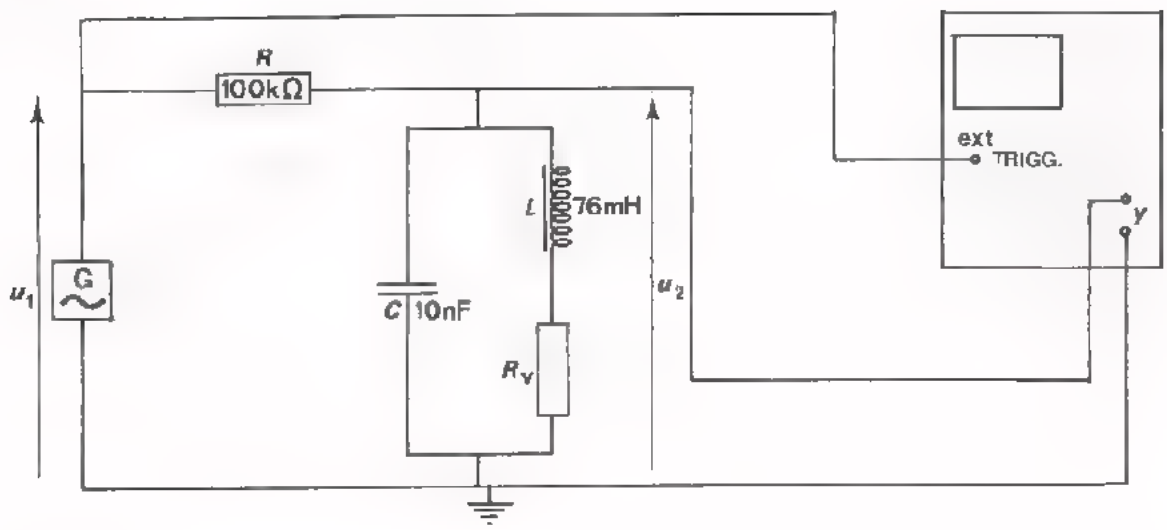
$R \ll Z_0$

Hier is een weerstand R met een parallelkring gecombineerd tot een *banddoorlatend filter*.

Beredeneer dit nu zelf eens door het gedrag van dit filter na te gaan bij lage en hoge frequenties en ook bij de resonantiefrequenties.

Schrijf deze redenering hieronder in telegramstijl op. Schets ook de doorlaatkromme.

OPDRACHT: METEN AAN EEN BANDDOORLATEND FILTER



- Bouw deze schakeling.
- Voer een spanning u toe vanuit de 15 Ω-uitgang van de generator. Kies de frequentie dicht bij de resonantiefrequentie.
- Stel de oscilloscoop in op: TRIGG: "EXT"
  TIME/div: "5 ms"
- Varieer de frequentie tussen 1,5 kHz en 15 kHz. U ziet dan dat u_2 alleen in de buurt van f_o groot is en daarbuiten klein.

OPMERKING:

De breedte van de doorgelaten frequentieband hangt weer af van de kwaliteitsfactor. Deze wordt bepaald door R_v zowel als door R. In dit geval is Q ongeveer gelijk aan $\frac{\omega_o L}{R}$.

- Varieer f en lees de frequenties f_1 en f_2 af, waarbij $u_2 = \frac{1}{2} u_{2_{max}}$.

f_1 = [kHz] en f_2 = [kHz]

Dus: $f_2 - f_1$ = [kHz]

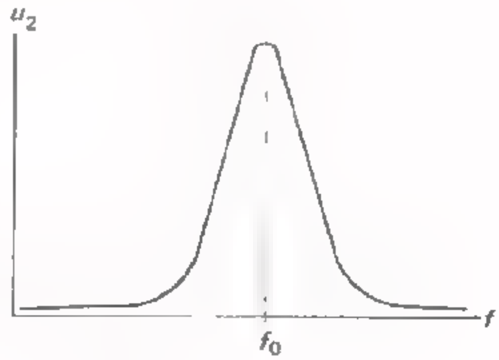
- Vervang de R van 100 kΩ door een R van 10 kΩ. Varieer f weer en lees de frequenties f_3 en f_4 af, waarbij $u_2 = \frac{1}{2} u_{2_{max}}$.

f_3 = [kHz] en f_4 = [kHz]

Dus: $f_4 - f_3$ = [kHz]

BANDBREEDTE

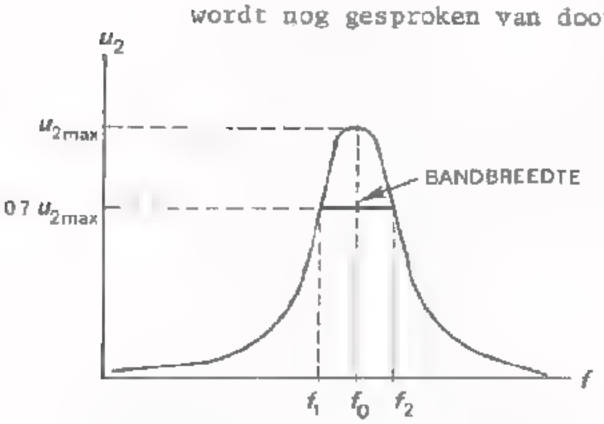
We hebben het gehad over banddoorlatende en bandonderdrukkende filters. Bij de banddoorlatende worden lage en hoge frequenties niet doorgelaten en daartussenin wordt een beperkte frequentieband wel doorgelaten. Bij bandonderdrukkende filters is dit juist andersom.



Hiernaast is nogmaals de doorlaatkromme van een banddoorlatend filter weergegeven. Deze kromme geeft het verloop van de amplitude van de uitgangsspanning, wanneer we van de ingangsspanning met constante amplitude de frequentie variëren.

In zo'n doorlaatkromme is geen scherpe overgang tussen wel en niet doorlaten aan te wijzen. Men heeft daarom volgende afspraak gemaakt:

> Alleen voor frequenties waarvan de amplitude van de uitgangs spanning tenminste 0,7 maal de maximale uitgangsspanning is, wordt nog gesproken van doorlaten.



Het verschil tussen de frequenties f_1 en f_2, waarbij $u_2 = 0{,}7\ u_{2max}$, noemt men de *bandbreedte* van het filter. Bandbreedte $B = f_2 - f_1$.

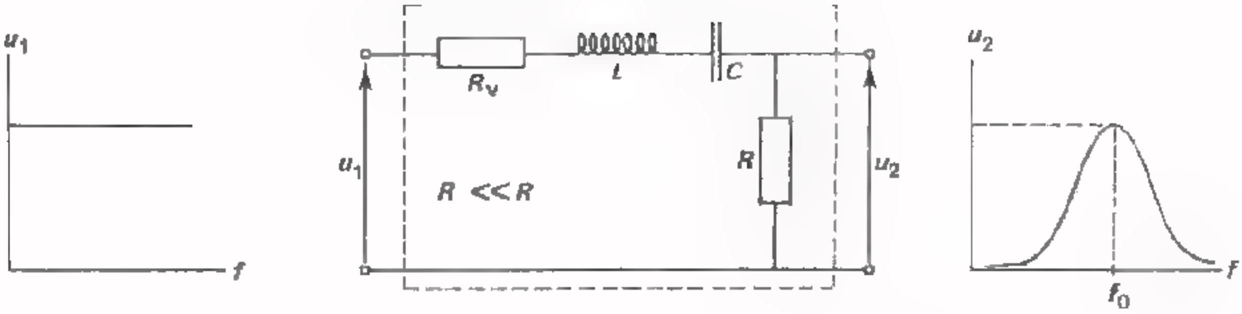
Op soortgelijke wijze kunnen we de bandbreedte van een bandsperrend filter vastleggen.

OPMERKING

Bij voorafgaande metingen zijn de waarden 0,7 u_{max} niet gebruikt, omdat de frequenties op de schaal van de generator niet goed zijn af te lezen. Bij onze metingen is dan ook niet *de* bandbreedte bepaald. We hebben alleen een indruk gekregen van het verschil in doorgelaten (of onderdrukt) frequentiegebied bij filters met verschillende Q.

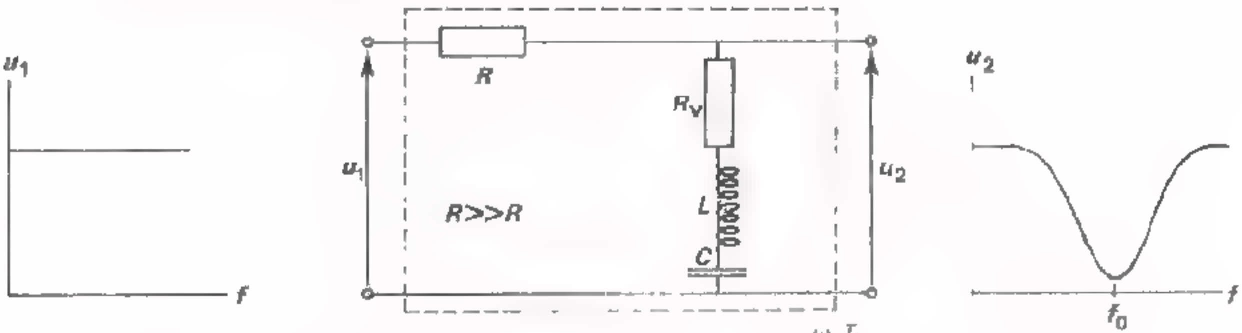
SAMENVATTING

- Banddoorlatend filter.



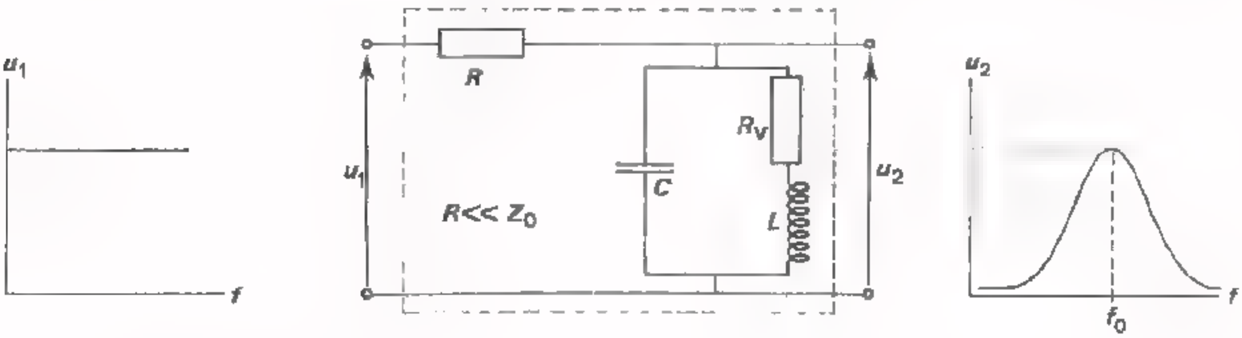
Bepalend voor de breedte van de band is: $Q_{tot} = \frac{\omega_o L}{R+R_v}$.

- Bandonderdrukkend filter.



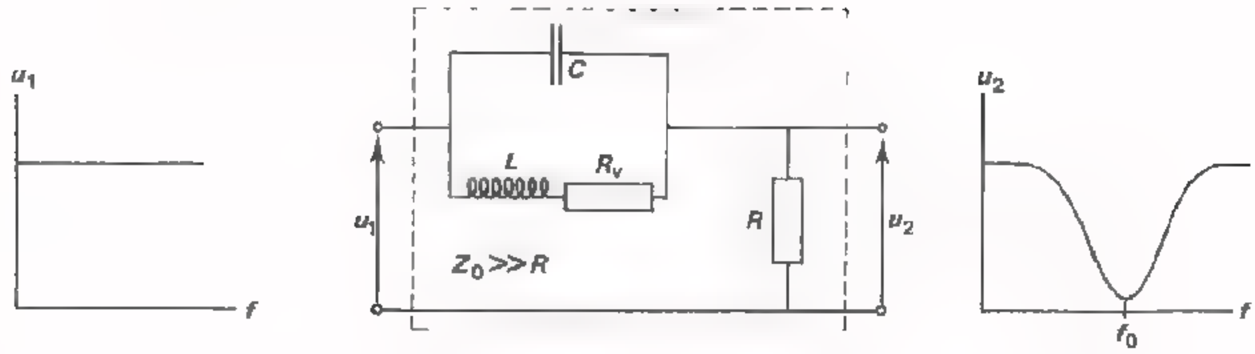
Bepalend voor de breedte van de band is: $Q = \frac{\omega_o L}{R_v}$, mits $R >> R_v$

- Banddoorlatend filter.



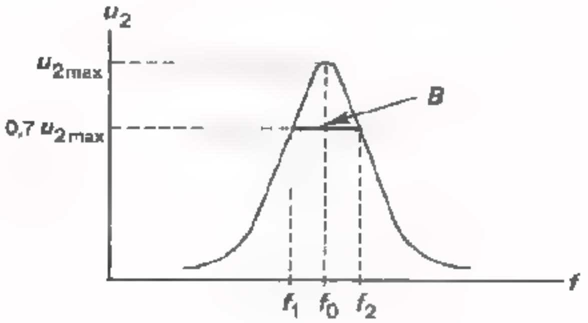
Hoe kleiner R_v en hoe groter R, des te groter Q en des te smaller de doorgelaten band.

● Bandonderdrukkend filter.



Hoe kleiner R_v en hoe groter R, des te groter Q en des te smaller de onderdrukte band.

●



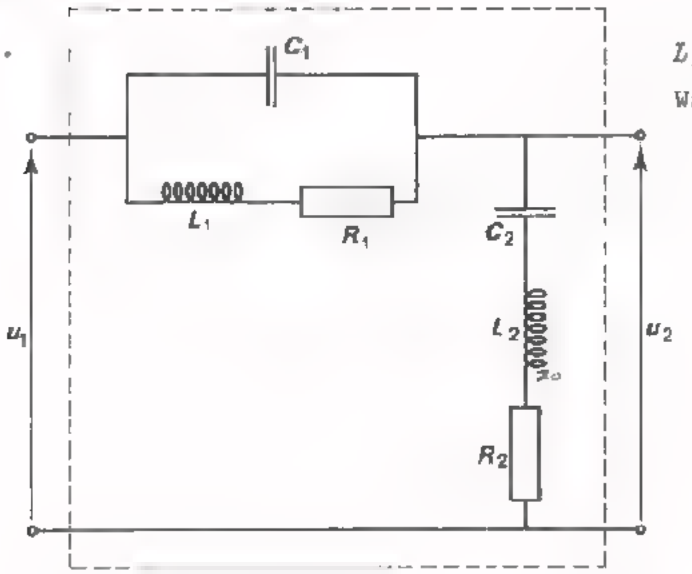
Het verschil tussen de frequenties f_1 en f_2, waarbij $u_2 = 0,7\ u_{2_{max}}$, noemt men *de bandbreedte* $B = f_1 - f_2$.

NAAM:

KLAS:

OEFENINGEN

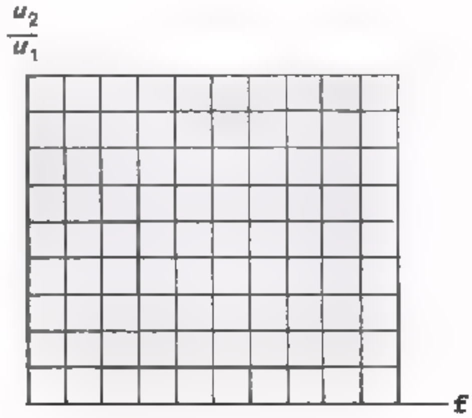
1.



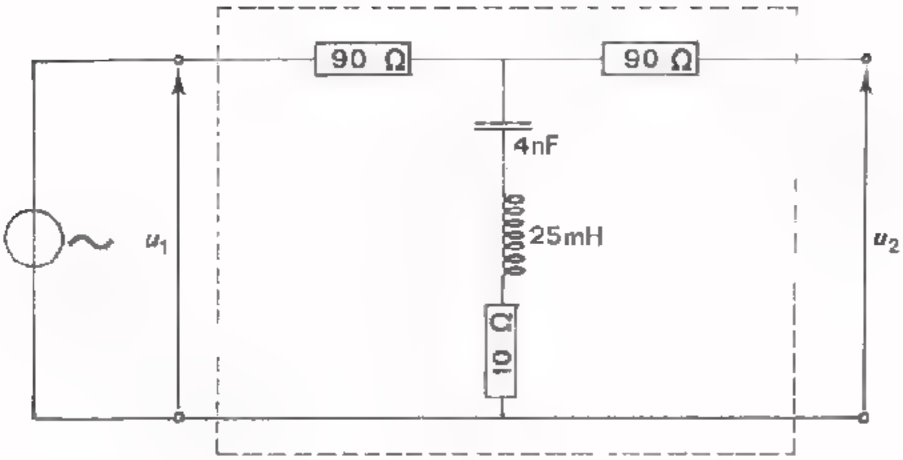
$L_1 = L_2$, $C_1 = C_2$ en $R_1 = R_2$.

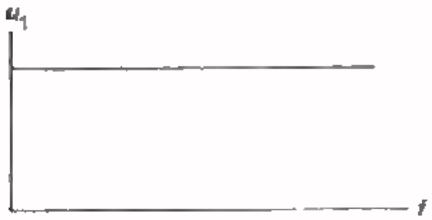
Wat voor soort filter is dit?

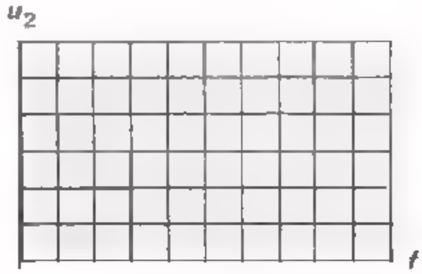
Schets een grafiek, waarin $\frac{u_2}{u_1}$ is uitgezet tegen de frequentie f.



2.







Schets de grafiek van u_2.

Bereken bij welke frequentie u_2 maximaal of minimaal is:

f_o = [kHz]

Bereken hoe groot dan $\frac{u_2}{u_1}$ is $\frac{u_2}{u_1}$ = [ ]

A 57 GEMODULEERDE SIGNALEN

INLEIDING

Tot nu toe zijn bij de bespreking van wisselspanning aan de orde geweest o.a. sinusvormige spanningen, blok-, driehoek- en zaagtandspanningen. Hier gaan we een bijzonder soort wisselspanningen behandelen, de z.g. *gemoduleerde spanningen*. Dit zijn spanningen,waarvan ofwel de amplitude ofwel de frequentie gevarieerd wordt. Zij vinden toepassing in de radio-, televisie en radartechniek. Dit zijn die technieken,die zich bezig houden met het draadloos overbrengen van berichten of *signalen* en die men wel samenvat onder de naam *telecommunicatie*.

Gemoduleerde signalen vonden hun eerste toepassing in de radiotechniek en hebben het draadloos overbrengen van geluidssignalen zelfs voor het eerst mogelijk gemaakt. De z.g. radiogolven zijn gemoduleerde signalen die geluidsgegevens met zich meedragen. We zullen gemoduleerde signalen behandelen aan de hand van de radiotechniek. Aangezien we dan met "het geluid" te maken krijgen, laten we een korte bespreking van dit onderwerp vooraf gaan.

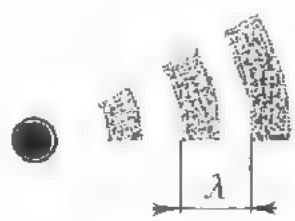
Laten we een luidspreker een geluid voortbrengen, dan gaat de luidspreker-conus een trillende beweging uitvoeren. Dit trillen is met de hand waarneembaar. Hoe ontstaat nu dit geluid?

De conus beweegt bij het trillen afwisselend van buiten naar binnen. Door de beweging naar buiten wordt de omringende lucht iets samengedrukt, zodat een "luchtverdichting" ontstaat. Bij de beweging naar binnen krijgt de omringende lucht iets meer ruimte, waardoor een "luchtverdunning" ontstaat.

Op deze manier verkrijgen we in de omgeving van een trillend voorwerp beurtelings luchtverdichtingen en -verdunningen, die zich in de ruimte in alle richtingen verspreiden. Men zegt, dat een geluidstrilling zich in de lucht *voortplant*.

Als een dergelijke zich voortplantende trilling ons oor bereikt, dan wordt het trommelvlies in trilling gebracht en onze hersenen verwerken dit tot een geluidswaarneming. Een zich voortplantende geluidstrilling heet ook wel een *geluidsgolf*.

Bij één keer heen en weer trillen, (in één periode dus) veroorzaakt een geluidsbron één verdichting en één verdunning. De afstand waarover een geluidsgolf zich in een periode voortplant noemt men *golflengte*. Golflengte wordt aangeduid met de griekse letter λ - spreek uit: "labda".



De golflengte is gelijk aan het produkt van de voortplantingssnelheid van het geluid en de periodetijd.
(Denk aan: afgelegde weg = snelheid x tijd).

In formule

$$\boxed{\lambda = c \cdot T}$$

λ: golflengte, m

c: voortplantingssnelheid, m/s

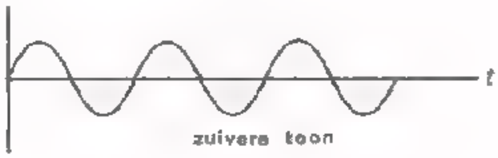
T: periodetijd, s.

De snelheid waarmee het geluid zich voortplant, is in lucht ongeveer 340 m/s. In andere stoffen, b.v. water, ijzer, baksteen is de geluidssnelheid een andere. In het luchtledige kan geluid zich in het geheel niet voortplanten.

GELUIDSTRILLINGEN EN FREQUENTIES

Een geluidstrilling heeft net als een wisselspanning een bepaalde frequentie. Het menselijk oor is in staat frequenties tussen ongeveer 20 Hz en 20 000 Hz te horen. Men noemt deze wel de *audio-frequenties*.

Trilt een geluidsbron zuiver sinusvormig, dan produceert hij een z.g. *zuivere toon*.

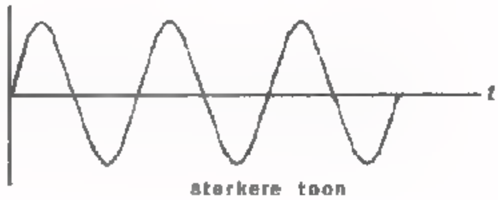


zuivere toon

Een zuivere toon ligt vast door twee gegevens:

- De frequentie van de trilling. Naarmate de frequentie hoger is horen wij een toon die *hoger* is.
- De amplitude van de trilling. Naarmate de amplitude groter is horen wij een toon die *sterker* is.

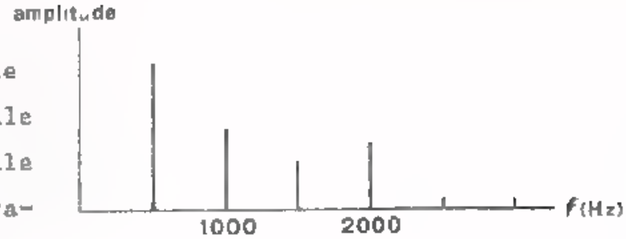
hogere toon



sterkere toon

Het geluid dat wij waarnemen, is zelden dat van een zuivere toon. Zelfs de klank die een muziekinstrument voortbrengt is nooit een zuivere toon, maar samengesteld uit een aantal zuivere tonen. Zo'n klank bevat een z.g. *grondtoon* en een aantal *boventonen*. De boventonen hebben frequenties die 2, 3, 4 of meer maal zo hoog zijn als de grondtoon. De frequenties en de sterkte van de boventonen bepalen de klankkleur of het *timbre* van een geluid.

Hier is een grafiek voor een bepaalde viooltoon getekend. Daarin zijn de amplitudes van de grondtoon en de boventonen weergegeven door verticale lijntjes. De plaats op de horizontale as legt de frequentie vast. Zo'n grafiek noemt men ook wel een *amplitude-frequentie*-diagram.



Naast min of meer muzikale geluiden zijn er ook nog geluiden als het geroezemoes in een zaal met veel mensen, het klapperen van een vlag. Hierbij is dan geen sprake van een duidelijke grondtoon en een aantal boventonen, maar van een groot aantal zuivere sinusvormige trillingen die samen een zeer grillig en telkens wisselend geheel van vele tonen vormen.

ZENDEN EN ONTVANGEN

Wissel- zowel als gelijkstromen kan men over grote afstanden transporteren via kabel- of draadverbindingen. Elektrische energie vervoert men door hoogspanningsleidingen van de centrale naar de verbruikers. Bij telefoongesprekken worden elektrische signalen via telefoonlijnen van spreker naar luisteraar overgebracht.

Het is echter ook mogelijk elektrische signalen *draadloos* over te brengen. Dit kan dan zelfs in het luchtledige, zoals b.v. bij het overseinen van televisiesignalen van de maan naar de aarde.

In een *zender* voert men een gemoduleerde wisselstroom toe aan een *zendantenne*. Hierdoor straalt deze antenne de combinatie van een magnetisch- en een elektrisch wisselveld uit in de ruimte. Genoemde veldcombinatie, die men aanduidt als *elektro-magnetische golven*, verloopt net zo als de wisselstroom in de zendantenne. Plaatsen we een *ontvangantenne* van een *ontvanger* in het veld van deze golven, dan induceren de elektro-magnetische golven een wisselspanning in deze antenne, die net zo verloopt als de wisselstroom in de zendantenne! Tenslotte verwerkt de ontvanger de inductiespanningen tot de gewenste geluids- of beeldsignalen in de huiskamer.

Elektromagnetische golven planten zich voort met een zeer grote snelheid: 3.10^8 m/s. De afstand van de aarde tot de maan leggen zij af in slechts 1,5 s.

Het is hier niet de bedoeling om de werking van zenders en ontvangers uiteen te zetten. We bekijken alleen het verloop van de gemoduleerde signalen die van zender naar ontvanger worden overgeseind. Ook gaan we na waarom het nodig is om nu juist "gemoduleerde" signalen te gebruiken.

WAAROM ZIJN GEMODULEERDE SIGNALEN NODIG VOOR DRAADLOOS OVERBRENGEN VAN BERICHTEN?

De geluiden in een radiostudio worden via een microfoon omgezet in wisselspanningen. Nu zou men er over kunnen denken deze spanningen met audiofrequenties direct aan de zendantenne toe te voeren. Op die manier zou men dan audiofrequente elektro-magnetische golven kunnen gaan uitzenden. Dit brengt echter twee ernstige bezwaren met zich mee.

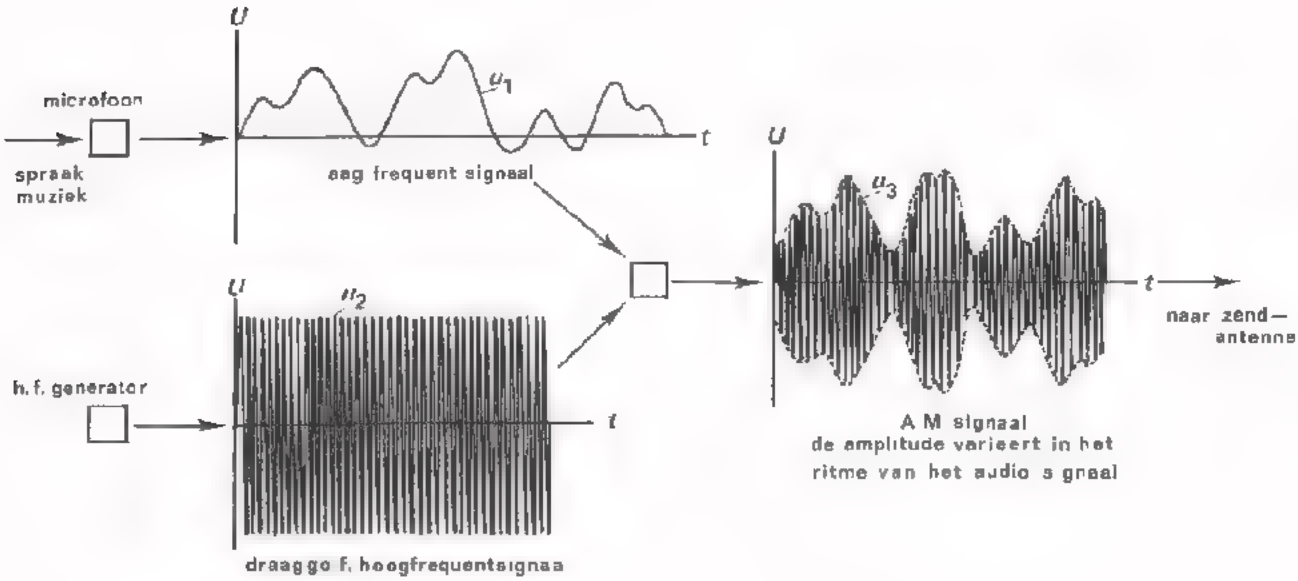
- Het is technisch niet goed mogelijk dergelijke zenders te bouwen. Zij zouden b.v. antennes moeten hebben met buitengewoon grote afmetingen.
- We hebben niet met één zender te maken, maar men een heleboel stations. Zouden al deze zenders audio-frequente-signalen uitzenden, dan zouden de door die zenders in de ontvangantenne geïnduceerde spanninkjes niet meer uit elkaar te halen zijn. De luidspreker zou dan het geluid van vele zenders door elkaar te horen geven.

De oplossing uit deze moeilijkheden is het audio-signaal *mee te geven* aan een spanning met een hoge frequentie, liefst boven 100 kHz. Dit hoogfrequent signaal "draagt" dan het audio-signaal en daarom noemt men dit eerste signaal de *draaggolf*.
Elke zender heeft een draaggolf met een eigen frequentie en daardoor is het mogelijk in de ontvanger het audio-signaal van de ene zender af te zonderen van alle andere tegelijkertijd ontvangen signalen.
Bovendien is het technisch goed mogelijk draaggolven, dankzij hun hogere frequentie, als elektro-magnetische golven over te zenden.

AMPLITUDE- EN FREQUENTIEMODULATIE

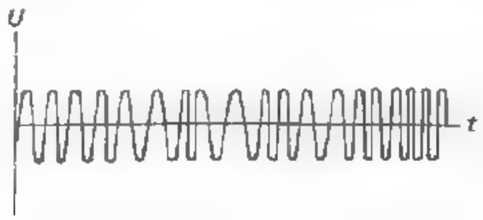
Een audiofrequent signaal meegeven aan een hoogfrequent signaal heet *moduleren*. Het hoogfrequent signaal noemt men de draaggolf en zijn frequentie de *draaggolffrequentie*. Het audiofrequente signaal noemt men het modulatiesignaal en zijn frequentie de *modulatiefrequentie*. Men kan een draaggolf op twee manieren moduleren: *in amplitude* en *in frequentie*. In de telecommunicatietechniek spreekt men kortweg van: "AM" en "FM".

- Bij AM brengt men een audiofrequent signaal en een hoogfrequent signaal samen in een ingewikkelde elektronische schakeling. Deze schakeling verwerkt deze beide signalen. Het resultaat is een signaal,waarbij de amplitude in het ritme van het audiofrequent signaal varieert.



U ziet dat de gegevens van het oorspronkelijke audiofrequente signaal u_1 aanwezig zijn in het AM-signaal u_3; zie de gestippelde lijn.

- Bij FM doet men iets dergelijks, maar nu verandert de frequentie van het gemoduleerde signaal in het ritme van het audio-signaal.



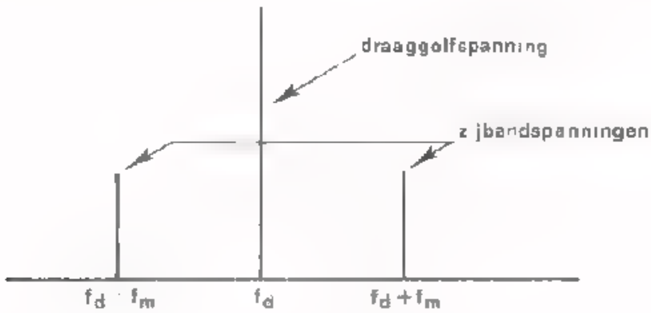
IN EEN GEMODULEERD SIGNAAL IS GEEN AUDIOFREQUENTE WISSELSPANNING MEER AANWEZIG

Wiskundig kan men aantonen dat een gemoduleerd signaal bestaat uit 3 *hoogfrequente* spanningen. Een sinusvormig gemoduleerde spanning is n.l. samengesteld uit 3 spanningen met als frequenties:

- de frequentie van de draaggolf, f_d
- de frequentie gelijk aan die van de draaggolf plus die van het modulatiesignaal: $f_d + f_m$
- de frequentie gelijk aan die van de draaggolf min die van het modulatiesignaal: $f_d - f_m$.

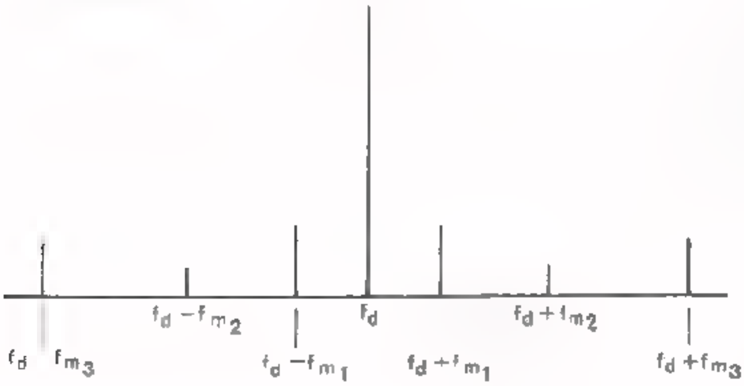
Op het volgende blad A57.8 zijn achtereenvolgens de grafieken getekend van de spanningen met de frequenties $f_d + f_m$, f_d en $f_d - f_m$. Als men de momentele waarden van deze spanningen op elk moment optelt en deze somwaarden in een nieuwe grafiek uitzet, verkrijgt men de vierde grafiek, die van een AM-spanning. U ziet dat dit AM-signaal inderdaad is samengesteld uit drie spanningen met de frequenties $f_d + f_m$, f_d en $f_d - f_m$.

We kunnen het AM-signaal ook voorstellen in een amplitude-frequentiediagram.

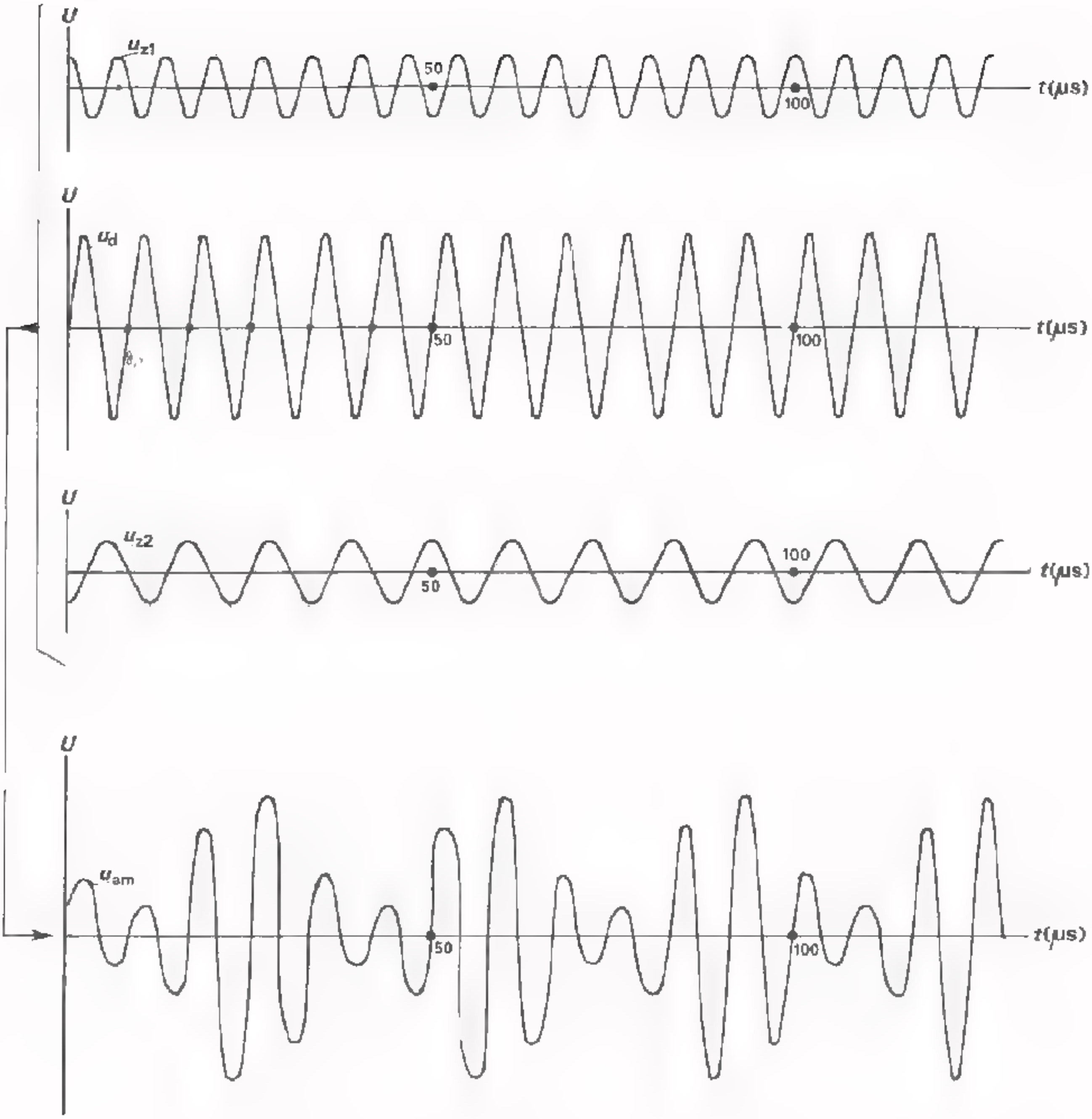


Hierin is duidelijk te zien, dat een AM-signaal een bepaalde bandbreedte inneemt n.l. 2 f_m. Moduleert men een draaggolf met een audio-signaal van b.v. 800 Hz, dan is die bandbreedte 1600 Hz; moduleert men met 15 kHz, dan is hij 30 kHz.

Is een draagolfspanning met meer dan een sinusvormig signaal gemoduleerd, dan zal de AM-spanning voor elk sinusvormig signaal twee zijbandspanningen bevatten.



AM-signaal, waarbij de draaggolf door drie sinusvormige signalen is gemoduleerd.



Als men voor elk moment de momentele waarden van de draaggolfspanning u_d en de zijbandspanningen u_{z_1} en u_{z_2} optelt, verkrijgt men de grafiek van de AM-spanning u_{am}.

OEFENING:

Bepaal de frequenties $f_d + f_m$, f_d, $f_d - f_m$ en f_m van u_{z_1}, u_d, u_{z_2} en het modulatiesignaal.

$f_d + f_m =$	kHz	$f_d =$	kHz
$f_d - f_m =$	kHz	$f_m =$	kHz

IETS MEER OVER HET FM-SIGNAAL

Bij het AM-signaal hebben we gezien, dat:

- De gegevens van het modulatiesignaal aan de draaggolf zijn meegegeven.
- De AM-spanning uitsluitend uit spanningen met hoge frequenties bestaat en dat de modulatiefrequentie niet meer aanwezig is.
- Een sinusvormig gemoduleerde AM-spanning is samengesteld uit drie hoogfrequente spanningen, die een bandbreedte innemen die gelijk is aan tweemaal de modulatiefrequentie.

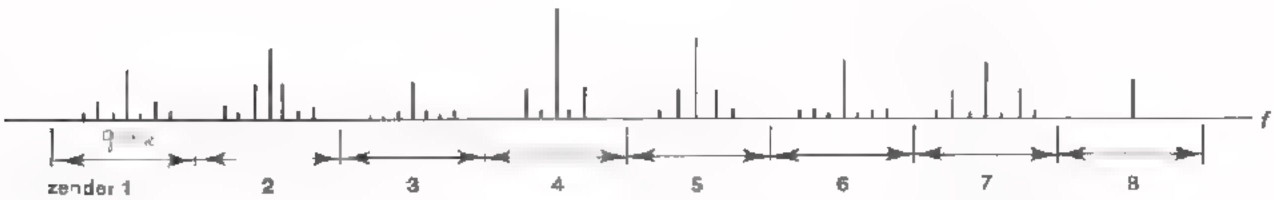
We hebben al gezien dat bij een FM-signaal de frequentie van het gemoduleerde signaal varieert in het ritme van het audio-signaal.

Hoe het met de verdere eigenschappen van een FM-signaal is gesteld is veel moeilijker duidelijk te maken. We willen er alleen dit van zeggen:

- Ook een FM-signaal bevat geen spanning meer met de frequentie van het modulatiesignaal, maar bestaat alleen uit een aantal hoogfrequente wisselspanningen.
- Ook een FM-signaal neemt een bandbreedte in die zich aan weerszijden van de draaggolffrequentie uitstrekt.
- De bandbreedte is echter meestal veel groter dan tweemaal de modulatiefrequentie. Een FM-zender vereist dan ook een veel grotere bandbreedte dan een AM-zender.

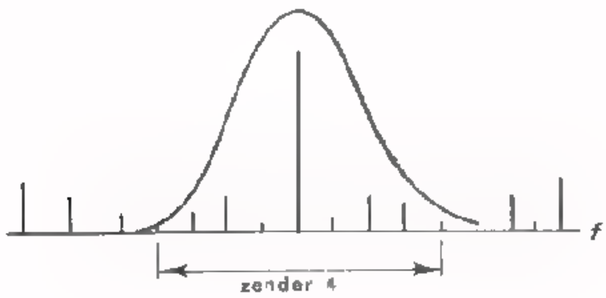
HET AFZONDEREN VAN EEN GEMODULEERD SIGNAAL

Met de ontvangantenne van een radio-ontvanger krijgen we de gemoduleerde signalen van vele radiozenders tegelijkertijd binnen. Elk van de ontvangen AM-zendersignalen heeft bij afspraak een bandbreedte van 9 kHz toegewezen gekregen. Hieronder is het amplitude-frequentie-diagram geschetst van een aantal ontvangen AM-zendersignalen, waarvan de frequentiebanden naast elkaar liggen in het frequentiespectrum.



In de ontvanger kan men nu één van de ontvangen zendersignalen van de andere afzonderen met behulp van een banddoorlatend filter, waarvoor men meestal een parallel-resonantiekring gebruikt. De resonantiefrequentie van de kring regelt men tijdens "het afstemmen van de ontvanger op de gewenste radiozender". Dit doet men door òf de *C* òf de *L* van de kring te variëren tot zijn resonantiefrequentie gelijk is aan de draaggolffrequentie van de gewenste zender.

Hieronder is nog eens het amplitude-frequentie-diagram van de ontvangen zendersignalen geschetst, maar nu met de doorlaatkromme van de resonantiekring. U ziet dat zendersignaal 4 wordt doorgegeven en de andere niet.



Dit is een mooi voorbeeld van het toepassen van een resonantiekring.

HET FREQUENTIESPECTRUM

Het frequentiegebied van 0 Hz tot de hoogste te gebruiken frequenties duidt men aan als het *frequentie-spectrum.* Onder aan dit blad hebben wij een overzicht gegeven van de verschillende frequentiebanden in het spectrum en hun toepassingen.

Vergelijk het spectrum hieronder en let eens op volgende gebieden:

- Het geluidsfrequentiegebied strekt zich uit van 16 Hz tot circa 20 kHz.
- Het ultra sonore gebied tussen 20 kHz en circa 100 kHz vindt o.a. toepassing bij het reinigen van onderdelen in de horloge-industrie.
- Het gebied tussen 100 kHz en 30 MHz wordt gebruikt voor AM-radiozenders.

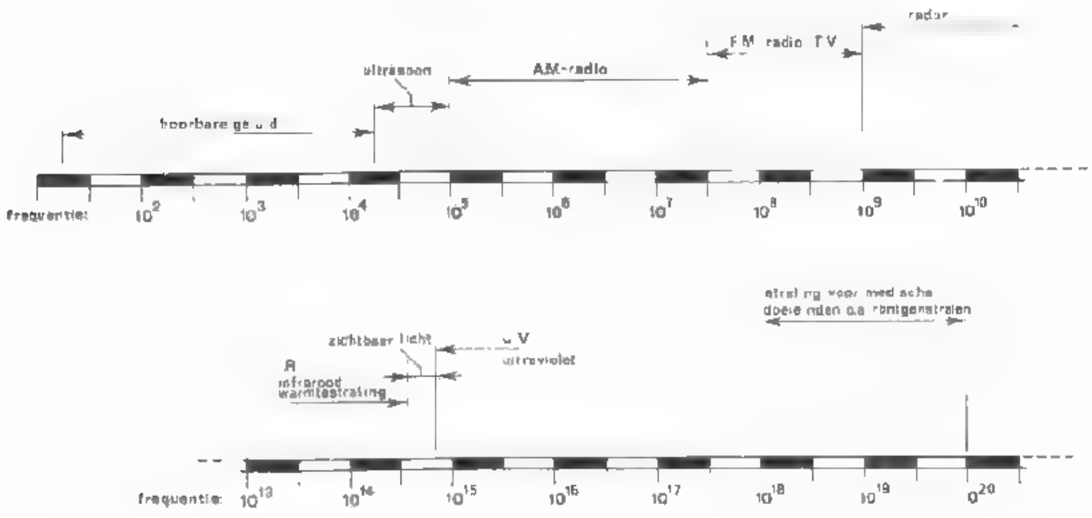
  AM-zenders vereisen een bandbreedte van 9 kHz.
- In het gebied tussen 30 MHz en 1000 MHz bevinden zich de signalen van FM-zenders en televisiezenders.

  Bij FM-zenders is de bandbreedt ruim 200 kHz.

  Bij televisie-zenders 7 MHz.
- Radar wordt toegepast in het frequentiegebied boven 1000 MHz.

  De bandbreedte bij radar is 20 tot 60 MHz.
- Het is gebleken dat het zichtbare licht ook uit elektro-magnetische golven bestaat. De frequenties daarvan liggen tussen 4.10^{14} Hz en $7,5.10^{14}$ Hz.
- De o.a. in ziekenhuizen toegepaste röntgenstralen liggen ongeveer tussen 10^{18} en 10^{20} Hz.

HET FREQUENTIE-SPECTRUM



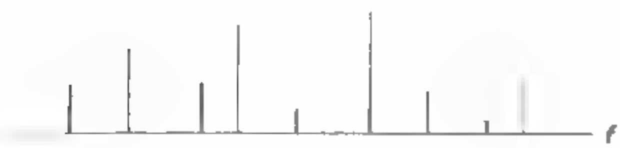
SAMENVATTING

- *Geluid* is een zich voortplantende trilling, die voor ons gehoor waarneembaar is.
- Geluidsgolven planten zich in lucht voort met een *voortplantingssnelheid* van ongeveer 340 m/s.
- Onder *golflengte* verstaan we de afstand waarover het geluid zich in een trillingstijd voortplant.

$$\boxed{\lambda = c \cdot T}$$

λ: golflengte, m
c: voortplantingssnelheid, m/s
T: periodetijd, s.

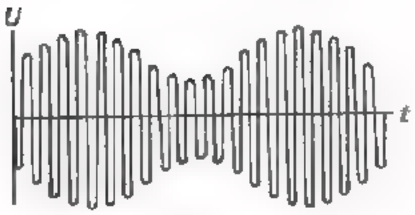
- Geluid is altijd samengesteld uit een of meer zuivere tonen.
- Een *zuivere toon* is een sinusvormige geluidstrilling.
- Een zuivere toon wordt gekenmerkt door twee grootheden:
  - de *toonsterkte*, die afhangt van de amplitude van de geluidstrilling. Grotere amplitude geeft een sterkere toon.
  - De *toonhoogte*, die afhangt van de frequentie van de geluidstrilling. Hogere frequentie geeft een hogere toon.
- De frequenties van voor mensen hoorbaar geluid liggen ongeveer tussen 20 Hz en 20 kHz. Men noemt dit wel de *audio-frequenties*.
- Met behulp van een *amplitude-frequentie-diagram* krijgt men een goed overzicht van een signaal, dat uit twee of meer wisselspanningen met uiteenlopende frequenties bestaat.



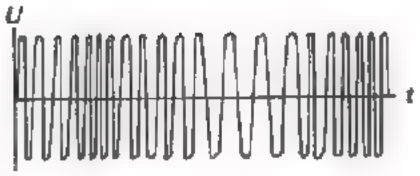
Elk verticaal lijntje stelt een wisselspanning voor. De lengte van het lijntje is een maat voor zijn amplitude. De plaats van het lijntje op de horizontale frequentie-as legt zijn frequentie vast.

- Als men een trilling meegeeft aan een trilling met een veel hogere frequentie (*draaggolf*) dan ontstaat een *gemoduleerde trilling*.

● Moduleren is op twee manieren besproken:



Bij een *in amplitude gemoduleerd* signaal wordt het modulatiesignaal meegegeven door de amplitude in het modulatieritme te variëren.



Bij een *in frequentie gemoduleerd* signaal wordt het modulatiesignaal meegegeven door de frequentie in het modulatieritme te variëren.

● Een gemoduleerde spanning is samengesteld uit een aantal sinusvormige spanningen met frequenties, die in de buurt van de draaggolffrequentie liggen. Spanningen met de modulatiefrequenties *zijn er niet in aanwezig.*

● Een gemoduleerd signaal beslaat een bepaalde *frequentieband* in de buurt van de draaggolffrequentie. Hoe breder het frequentiegebied van het modulatiesignaal is, des te breder is de frequentieband van het gemoduleerde signaal.

● Met behulp van een resonantiekring, die op het gewenste zendersignaal is afgestemd, kan men dit signaal afzonderen van de andere ook aanwezige zendersignalen met andere draaggolffrequenties.

NAAM: [ ] KLAS: [ ]

OEFENINGEN

1. Radiosignalen, lichtstralen, röntgenstralen en televisiesignalen zijn voorbeelden van [ ]

   Licht zowel als geluid is een zich voortplanten van [ ]

   Licht en geluid verschillen wat betreft:

   a. de voortplantingssnelheid; deze van licht is veel **groter/kleiner** dan die van geluid.

   b. de tussenstof; in het luchtledige kan geluid zich **niet/wel** voortplanten en licht **niet/wel**

2. Op 3,4 km afstand begint men vuurwerk af te steken. De eerste lichtflits gaat gepaard met een harde knal. Wat gebeurt eerder: het horen van de knal of het zien van de lichtflits?

   knal/lichtflits

   Na hoeveel seconden hoort men de knal? [ ] s

   Na hoeveel seconden ziet men de lichtflits? [ ] s

3. Bij een AM-signaal varieert [ ]

Bij een FM-signaal varieert [ ] en is [ ] constant.

Geen van beide signalen bevat een wisselspanning met

[ ]

4. Voor een microfoon wordt door twee fluitisten een toon aangeblazen van 400 Hz en een toon van 1200 Hz. Daarbij is de eerstgenoemde toon 2 maal zo sterk als de laatste. Met de hierdoor in de microfoon opgewekte wisselspanningen moduleert men een draaggolf van 100 kHz in de amplitude. Schets hieronder het amplitude-frequentie-diagram van het AM-signaal en vermeld daarbij de frequenties van de wisselspanningen.

A 58 HERHALING 6

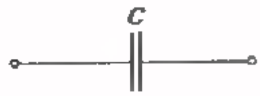
In deze les gaan we het voorafgaande stuk herhalen. In A59 volgt weer een test.

- Werk deze herhalingsles grondig door.
- Bestudeer de samenvattingen van de lessen A54 t/m A57 nog eens goed.
- Ga na in welke oefeningen u fouten maakte en probeer vooral te achterhalen waarom u die maakte.
- Als u iets nog niet begrijpt, vraag het dan uw leraar.

ENIGE UITGANGSPUNTEN

- 

  Een *weerstand* heeft een weerstandswaarde die onafhankelijk is van de frequentie.

- 

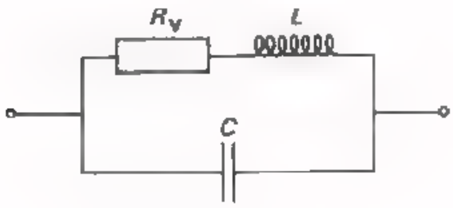
  Een *condensator* heeft een reactantie die groot is bij lage en klein bij hoge frequenties.

- 

  Een *spoel* heeft een reactantie die klein is bij lage en groot bij hoge frequenties.

- 

  Een *seriekring* heeft bij $f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$ een kleine impedantie R_v, bij lage frequenties een grote impedantie ($\approx \frac{1}{\omega C}$) en bij hoge frequenties een grote impedantie ($\approx \omega L$).

- 

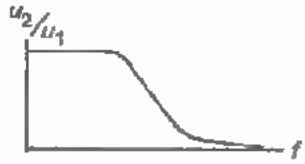
  Een *parallelkring* heeft bij $f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$ een grote impedantie $\frac{L}{R_v C}$, bij lage frequenties een kleine impedantie (door de ωL) en bij hoge frequenties een kleine impedantie (door de $\frac{1}{\omega C}$).

FILTERS

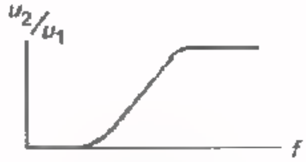
Een filter is een schakeling, die een aantal frequenties doorlaat en de andere onderdrukt.

Men onderscheid volgende filters:

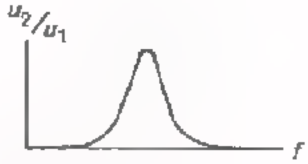
- *Laagdoorlatende.*
  Alleen lage frequenties gaan er door.



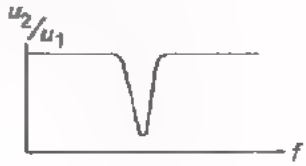
- *Hoogdoorlatende.*
  Alleen hoge frequenties gaan er door.



- *Banddoorlatende.*
  Deze filters laten een bepaalde "frequentieband" door. Hogere en lagere frequenties worden onderdrukt.

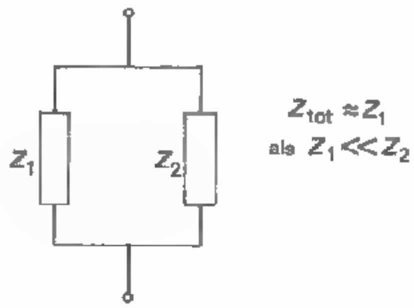


- *Bandonderdrukkende* of *bandesperrende.*
  Deze laten alle frequenties door, behalve die welke binnen een bepaalde "frequentieband" liggen.

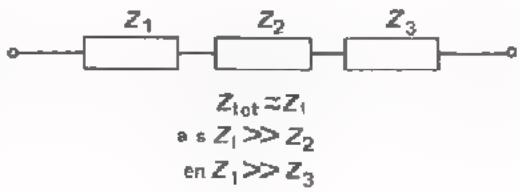


In verband met filters is het verder van belang het volgende op te merken:

- Als een grote weerstand (reactantie of impedantie) parallel staat aan een kleine, dan is de totale weerstand (reactantie of impedantie) ongeveer gelijk aan de kleinste.

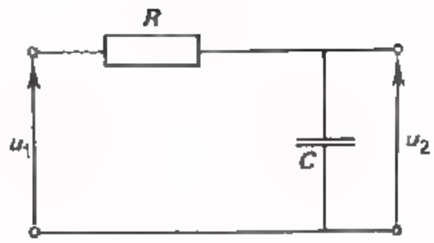


- Als een aantal weerstanden (reactanties of impedanties) in serie staan en er is een zeer grote bij, dan is de totale weerstand (reactantie of impedantie) ongeveer gelijk aan die grote.



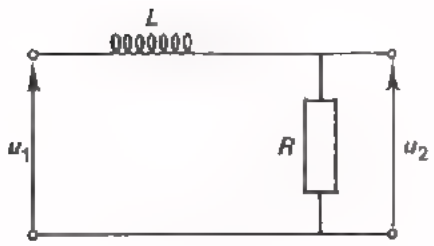
TEST UZELF

1.



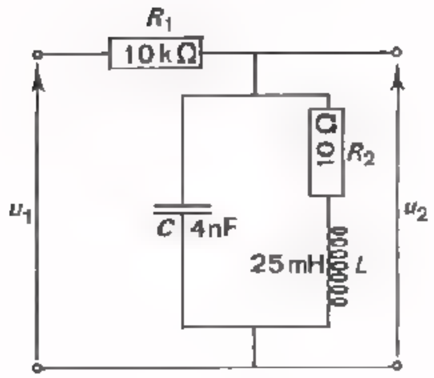
Dit filter is een **hoog/laag** doorlatend filter.

2.



Dit filter is een **hoog/laag** doorlatend filter.

3.

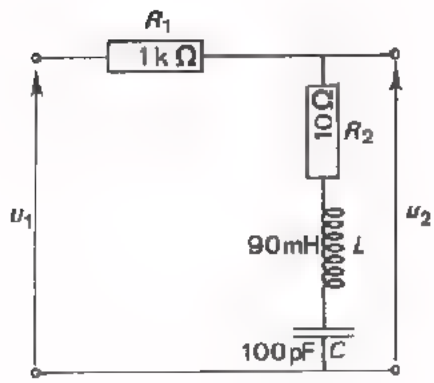


Dit is een band **doorlatend/sperrend** filter.

u_2 is **minimaal/maximaal**

bij de frequentie f =

4.

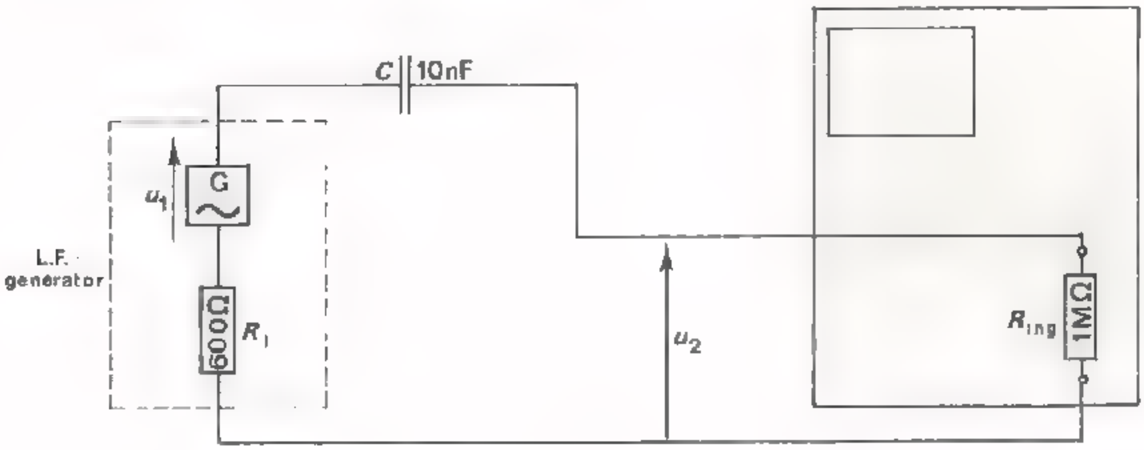


Dit is een band **doorlatend/sperrend** filter.

u_2 is **minimaal/maximaal**

bij de frequentie f =

5. Hier een wat moeilijker filtertoepassing. Met wat u over filters weet kunt u volgend probleem echter oplossen. Probeer het eens.

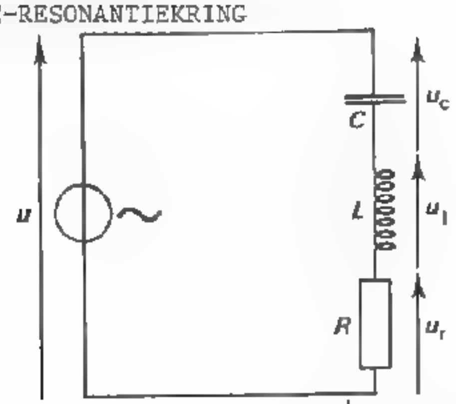


Een LF-generator levert via een condensator C = 10 nF een wisselspanning u aan de ingang van de oscilloscoop.

De ingangsweerstand van de oscilloscoop bedraagt 1 MΩ. Als de spanning van u_1 van de generator bij frequenties van 10 Hz tot 20 kHz constant is, zal dan ook de amplitude van de op het scherm zichtbare wisselspanning constant zijn voor dit hele frequentiegebied?

Bij hoge frequenties	**neemt de amplitude af** **blijft de amplitude constant**
Bij lage frequenties	**neemt de amplitude af** **blijft de amplitude constant**

Schets hieronder de vorm van de amplitude-frequentie-karakteristiek.



Gemeenschappelijk is de *stroom* i; daarom beginnen we bij de vectordiagrammen met de i-vector te tekenen.

Lage frequentie.

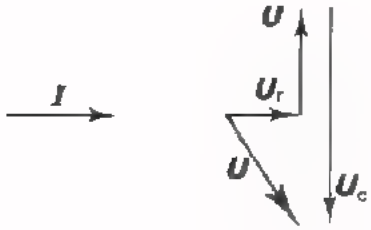
Dan is $\omega L < \frac{1}{\omega C}$

en ook $u_1 < u_c$.

Volgorde van tekenen is:

i, u_r, u_1

u_c, u.



Hoge frequentie.

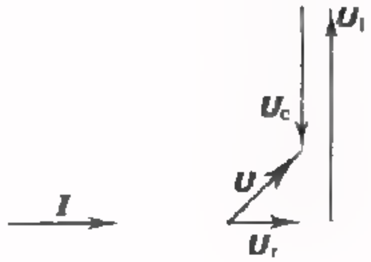
Dan is $\omega L > \frac{1}{\omega C}$

en ook $u_1 > u_c$.

Volgorde van tekenen is weer:

i, u_r, u_1

u_c, u.



Resonantie-frequentie.

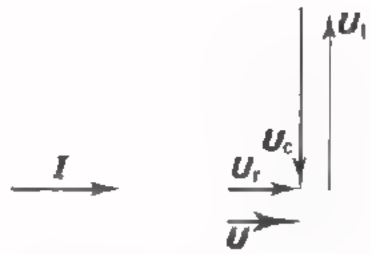
Dan is $\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$

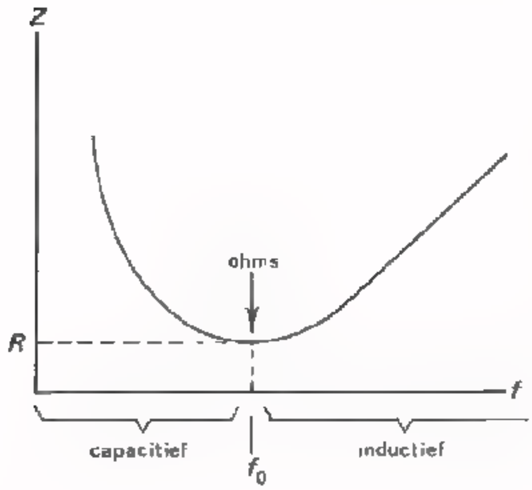
en ook $u_1 = u_c = Q.u$,

terwijl $Z_0 = r$.

Volgorde van teken is weer dezelfde:

u_1 en u_c zijn Q maal zo groot als u.

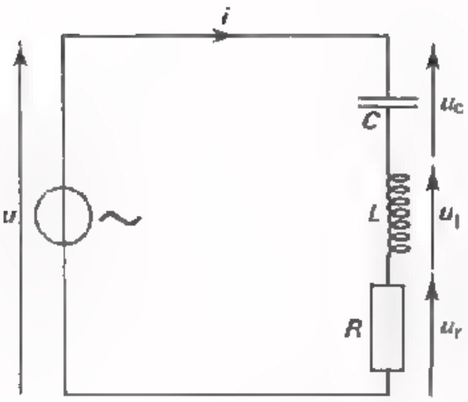


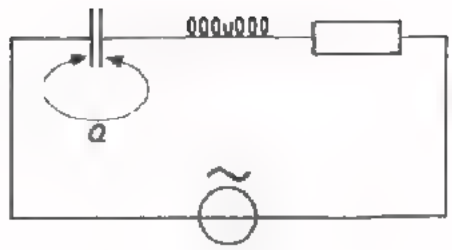


De impedantie is minimaal, "ohms" en gelijk aan R_v bij f_0.

Als $f < f_0$, dan is Z capacitief (zie vectordiagram 1).

Als $f > f_0$, dan is Z inductief (zie vectordiagram 2).

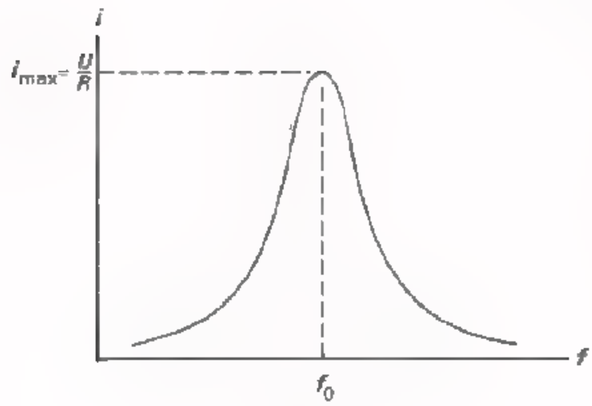




Bij f_o wordt de tussen de platen van de condensator heen en weer slingerende elektrische lading net "in de pas" aangeduwd door de toegevoerde wisselspanning u. We zeggen "de kring is dan in resonantie". Dan zijn u_L en u_c maximaal opgeslingerd. De waarde van u_l en u_c is dan:

$$u_l = Q.u = \frac{\omega_o L}{R_v} \cdot u \quad \text{en} \quad u_c = Q.u = \frac{1/\omega_o C}{R_v} \cdot u \text{ of}$$

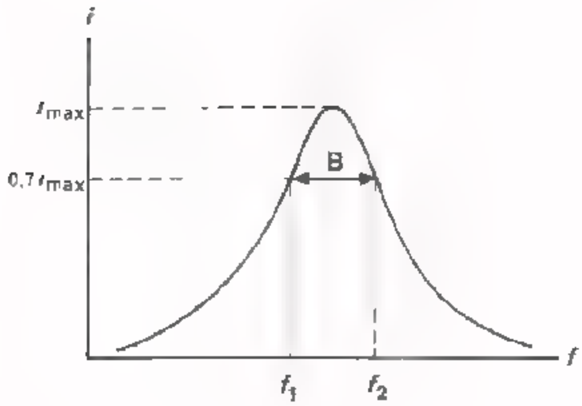
$$\boxed{Q = \frac{\omega_o L}{R_v} = \frac{1/\omega_o C}{R_v}}$$

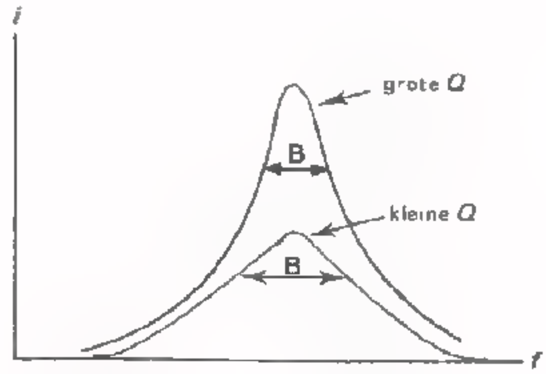


'resonantiekromme'

Houdt men u constant en verandert men f van 0 tot zeer hoog, dan is i alleen groot in de buurt van de resonantiefrequentie. Verder is i maximaal en gelijk aan $\frac{u}{R_v}$ bij f_o.

Hoe groter Q, des te hoger de resonantiekromme wordt. Tevens wordt de "bandbreedte" dan kleiner. De bandbreedte B is $f_2 - f_1$, als bij de frequenties f_2 en f_1 geldt $i = 0,7\ i_{max}$.





REKENEN MET DE FORMULE: $f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$.

Het rekenen met de formule voor de resonantiefrequentie levert nogal eens moeilijkheden op. We maken in deze herhalingsles van de gelegenheid gebruik om de manier van rekenen aan de hand van enige voorbeelden te laten zien.

Bij resonantie geldt: $\omega_o L = \frac{1}{\omega_o C}$, waarbij $\omega_o = 2\pi f_o$

Dit kunnen we ook schrijven als:

$$\boxed{\omega_o^{\,2}\, LC = 1}$$

Dit is een formule waarin drie grootheden voorkomen. Als er twee gegeven zijn is de derde te berekenen.

- Geval 1.

L en f_o gegeven, C te berekenen.

$$\omega_o^{\,2}LC = 1 \qquad C = \frac{1}{\omega_o^{\,2}L} = \frac{1}{4\pi^2 f_o^{\,2} L}.$$

Stel nu, dat b.v. f_o = 100 kHz en L = 30 μH. De berekening verloopt als volgt:

$$\boxed{\begin{aligned} C &= \frac{1}{4\pi^2 f_o^{\,2} L} = \frac{1}{4\underset{\substack{\downarrow\\ 10}}{\pi^2}.(10^5)^2.30.10^{-6}} \\ &= \frac{10^6}{4.10.10^{10}.3.10} = \frac{1}{12.10^6} \\ &= \frac{100}{12.10^8} = 8{,}3.10^{-8}\ F = 83\ \text{nF.} \end{aligned}}$$

● Geval 2.

C en f_o gegeven, L te berekenen.

Stel b.v. f_o = 100 kHz en C = 120 pF.

$$\omega_o^2 LC = 1 \rightarrow L = \frac{1}{\omega_o^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 f_o^2 C}$$

$$L = \frac{1}{4.10.(10^5)^2.120.10^{-12}} = \frac{10^{12}}{4.10.10^{10}.120}$$

$$= \frac{1}{4.12} = \frac{1}{48}\ H = \frac{1000}{48}\ mH \approx 20\ \text{mH.}$$

● Geval 3.

L en C gegeven, f_o te berekenen. Stel b.v. L = 3 mH en C = 12 nF.

$$\omega_o^2 LC = 1 \rightarrow \omega_o^2 = \frac{1}{LC} =$$

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\rightarrow f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{3.10^{-3}.12.10^{-9}}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{10^{12}}{36}}$$

$$= \frac{1}{2\pi}\ \frac{10^6}{6}\ Hz = \frac{1000}{12\pi}\ kHz \approx 26{,}5\ \text{kHz.}$$

Merk op, dat we een grootheid telkens eerst in formulevorm opgeschreven hebben en we pas daarna getalwaarden hebben ingevuld.

Niet altijd is het nodig uitvoerige berekeningen te maken.
Voorbeeld:

Er treedt resonantie op bij een bepaalde L-C-combinatie. Nu wordt de C 4 x zo groot, terwijl L even groot blijft. Gevraagd: Wat gebeurt er met de resonantiefrequentie?

$\omega_o^2 LC = 1$

4 x zo groot

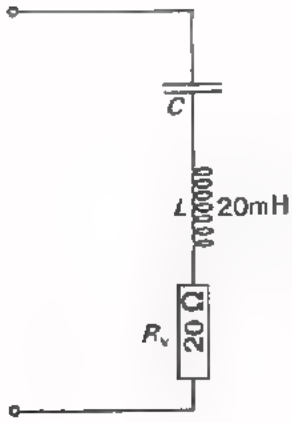
dan moet ω_o^2 *4 x zo klein zijn*

ω_o *dus 2 x zo klein*

en ook f_o *2 x zo klein.*

TEST UZELF

1.



We willen dat deze kring in resonantie is bij f_o = 50 kHz.

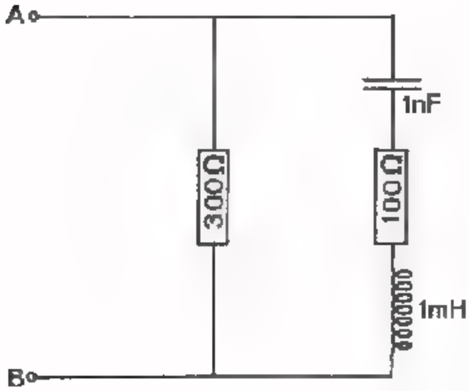
Hoe groot moet de condensator dan zijn?

C =

Hoe groot is de kwaliteitsfactor?

Q =

2.



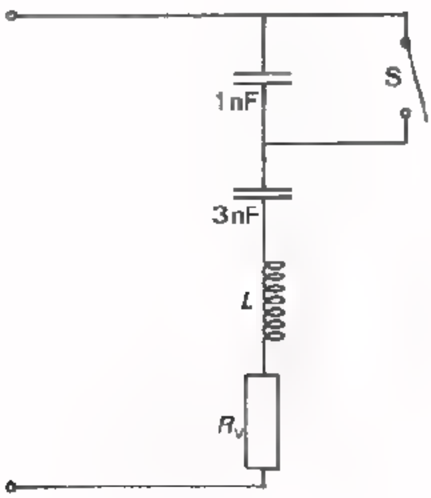
Hoe groot is Z_{AB} bij de resonantiefrequentie van de seriekring?

Z_{AB} =

Zijn toegevoerde spanning en stroom dan in fase?

ja/nee

3.



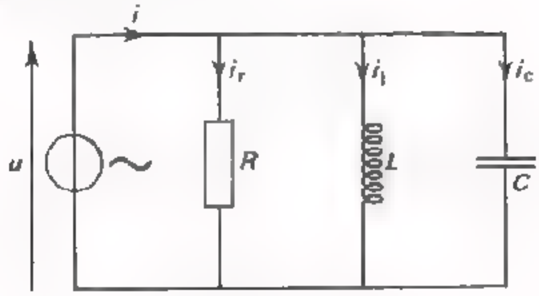
De resonantiefrequentie van de seriekring met S open bedraagt 5 kHz.

Hoe groot wordt de resonantie-frequentie als men S sluit?

f_o = kHz

DE PARALLEL-RESONANTIEKRING

● ZUIVERE PARALLELKRING



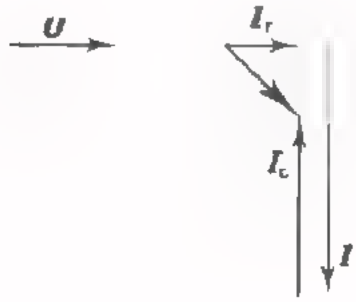
In vectordiagrammen beginnen we met de *u*-vector te tekenen, omdat de *spanning* hier van alle componenten dezelfde is.

Lage frequentie.

Dan is $\omega L < \dfrac{1}{\omega C}$

of $X_L < X_C$.

Dus $i_l > i_c$.

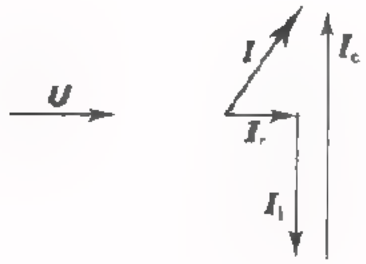


Hoge frequentie.

Dan is $\omega L > \dfrac{1}{\omega C}$

of $X_L > X_C$.

Dus $i_l < i_c$.

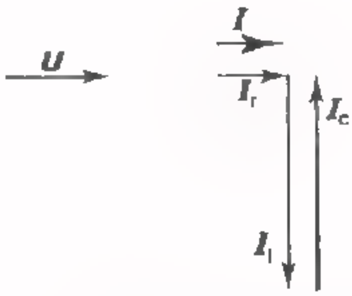


Resonantie-frequentie.

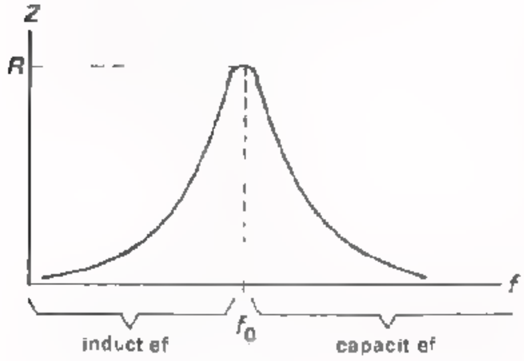
Dan is $\omega_o L = \dfrac{1}{\omega_o C}$

en ook $i_l = i_c = Q.i$,
terwijl $Z_o = R$.
Verder is:

$$Q = \frac{R}{\omega_o L} = \frac{R}{1/\omega_o C} = \frac{i_l}{i} = \frac{i_c}{i}.$$

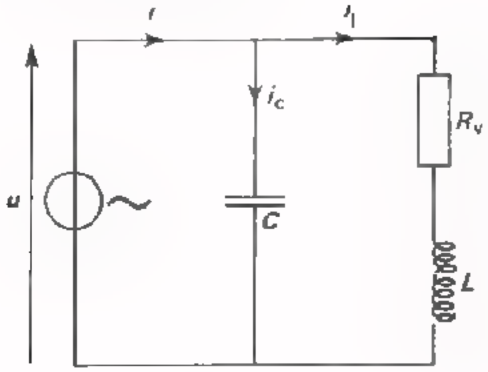


i_l en i_c zijn Q maal zo groot als i.



De impedantie bij f_o is maximaal, "ohms" en gelijk aan R.
Als $f < f_o$, dan is Z inductief (zie vectordiagram 1).
Als $f > f_o$, dan is Z capacitief (zie vectordiagram 2).

● PRACTISCHE PARALLELKRING



Ook hier geldt:

- bij *lage* frequenties is ωL klein, zodat Z klein is door de geringe impedantie van de L-tak,
- bij *hoge* frequenties is $\frac{1}{\omega C}$ klein, zodat Z klein is door de geringe impedantie van de C-tak,
- bij $f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{1}{LC}}$ is de impedantie groot en "ohms".

Verder geldt:

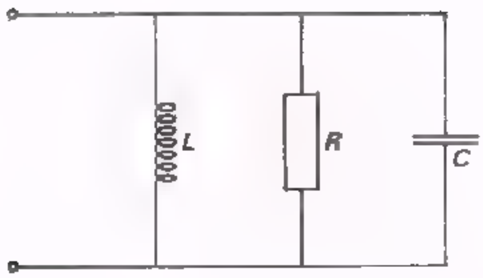
- bij f_o is $Z = Z_o = \frac{L}{R_v C}$
- bij f_o is de opslingeringsfactor of kwaliteitsfactor:

$$\boxed{Q = \frac{i_1}{i} = \frac{i_c}{i} = \frac{\omega_o L}{R_v} = \frac{1/\omega_o C}{R_v}}$$

- in de R_v zijn alle verliezen van de spoel vertegenwoordigd: koperdraad-, weerstand-, ijzerverliezen, enz.
- men kan niet "de spanning over R_v" of "de spanning over L" meten omdat de L en de R_v niet te scheiden zijn.

TEST UZELF

1.



Gegeven:

$L = 9$ mH

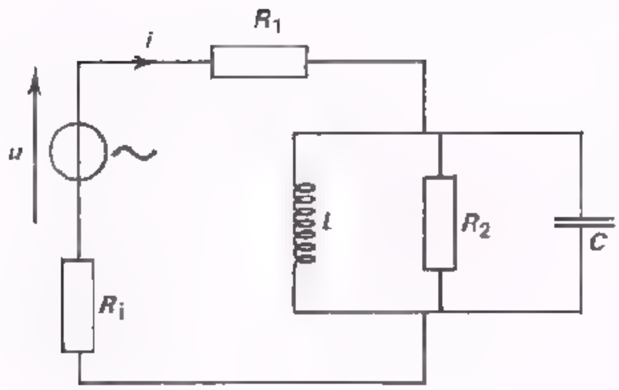
$C = 25$ nF

$Q = 100$

Gevraagd R te berekenen.

R = [ ]

2.



Gegeven:

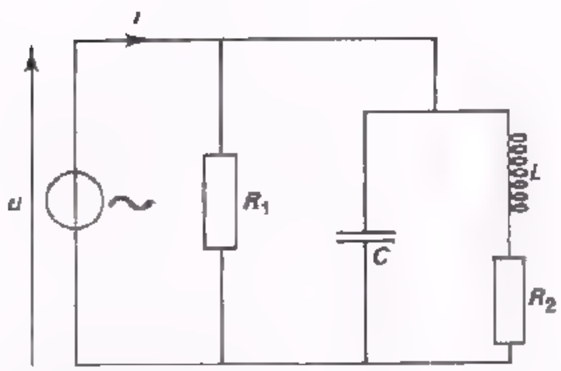
$R_i = 600\ \Omega$; $R_1 = 2400\ \Omega$

$R_2 = 12\ \text{k}\Omega$; $u = 30$ V.

Bereken hoe groot i is bij resonantie.

i = [ ]

3.



Gegeven:

$L = 200$ mH; $R_2 = 10\ \Omega$.

$C = 800$ nF; $R_1 = 25\ \text{k}\Omega$.

Bereken de Z_o van de parallelkring.

Z_o = [ ]

Bereken voor de gehele schakeling $Z = \frac{u}{i}$ bij de resonantiefrequentie van de parallelkring.

Z = [ ]

TRILLINGEN

- *Geluid* is een zich voortplantende trilling,die voor ons gehoor waarneembaar is.

- *Elektro-magnetische golven* zijn zich in de ruimte voortplantende trillingen, die bestaan uit een bij elkaar horend elektrisch- en magnetisch wisselend veld.

- Een zich voortplantende trilling heeft:

  - een *voortplantingssnelheid c*; dit is de afstand waarover de trilling zich in 1 seconde voortplant,
  - een *trillingstijd T*; dit is de tijd waarin een complete trilling plaatsvindt,
  - een *golflengte λ*; dit is de afstand waarover de trilling zich in een trillingstijd voortplant.

- Tussen deze drie grootheden bestaat het verband:

$$\boxed{\lambda = c \cdot T}$$

λ : golflengte, m
c : voortplantingssnelheid, m/s
T : trillingstijd, s.

- De voortplantingssnelheid van geluid in lucht is ongeveer 340 m/s.

- De voortplantingssnelheid van elektro-magnetische golven in de ruimte is veel groter: 3.10^8 m/s.

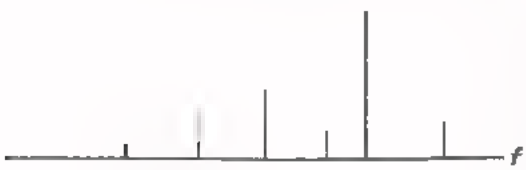
- Geluid is samengesteld uit een of meer zuivere tonen.

- Een *zuivere toon* is een sinusvormige geluidstrilling.

- De frequenties van voor mensen hoorbaar geluid liggen tussen 20 Hz en 20 kHz.

- Een zuivere toon wordt gekenmerkt door twee grootheden:

  - de *toonsterkte*; deze hangt af van de amplitude van de geluidstrilling,
  - de *toonhoogte*; deze hangt af van de frequentie van de geluidstrilling.

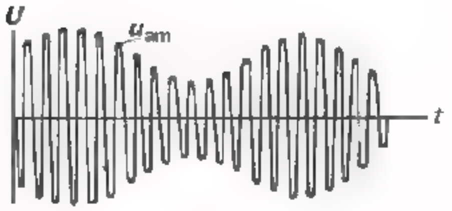


Een *amplitude-frequentie-diagram* geeft een overzicht van een signaal, dat uit meer dan een sinusvormige trilling is samengesteld.
Het geeft de amplitude en de frequentie van elke sinusvormige trilling, maar niet de fase.

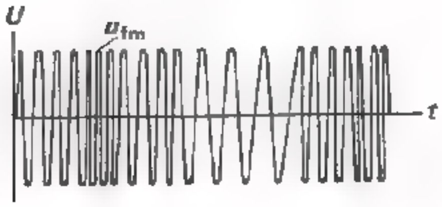
DRAADLOOS OVERBRENGEN

- Men kan wisselspanningssignalen draadloos overbrengen met behulp van een *sender*, die elektro-magnetische golven uitzendt en een *ontvanger*, die uit deze elektro-magnetische golven een signaal opvangt en verwerkt.
- Een onderdeel van de zender is de *zendantenne*, waarin de over te brengen wisselspanning een wisselstroom doet lopen, die elektro-magnetische golven opwekt.
- Bij de *ontvangantenne* van een ontvanger gekomen induceren de elektro-magnetische golven een kleine wisselspanning in deze antenne. De ontvanger verwerkt de kleine inductiespanningen tenslotte tot het gewenste signaal. (Bijvoorbeeld: "geluid" bij radio-ontvangst, "beeld" bij radar-ontvangst, "beeld en geluid" bij televisie-ontvangst).
- Draadloos overseinen is technisch pas goed te verwezenlijken voor trillingen met frequenties boven ca. 100 kHz. Voor trillingen met veel lagere frequenties (en dus zeker voor audio-frequente trillingen) is direct draadloos overseinen praktisch niet goed uitvoerbaar.
- Voor het draadloos overseinen van geluidstrillingen is het daarom nodig om deze trillingen aan een draaggolftrilling met een frequentie boven 100 kHz mee te geven.
- Wil men bovendien de zendersignalen van radiozenders, die tegelijkertijd uitzenden, *afzonderlijk* in een ontvanger kunnen verwerken, dan dienen de geluidstrillingen in de zenders aan draaggolven met *verschillende* frequenties te worden meegegeven. Zou men audio-frequente trillingen wel draadloos over kunnen seinen, dan zou dit praktisch het bezwaar hebben, dat men de geluidssignalen van verschillende radiozenders niet uit elkaar kan halen. De spraak en muziek van alle ontvangen zendersignalen zijn dan door elkaar te horen.

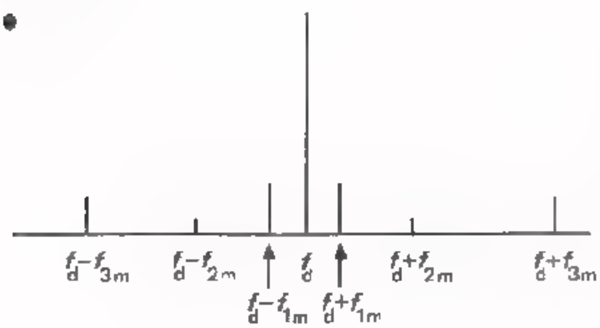
- Het "moduleren" van een sinusvormige trilling met een hoge frequentie, de z.g. draaggolf, is het "model geven" aan deze HF-trilling.
- Door een draaggolf te moduleren met een modulatiesignaal dat uit een of meer trillingen met lagere frequenties bestaat, worden de gegevens van het modulatiesignaal aan de draaggolf meegegeven.
- Moduleren kan op twee manieren geschieden:



Door de amplitude in het modulatie-ritme te variëren ontstaat een *in amplitude gemoduleerd* signaal, kortweg een AM-signaal.

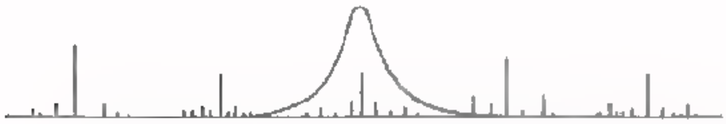


Door de frequentie in het modulatie-ritme te variëren ontstaat een *in frequentie gemoduleerd* signaal, kortweg een FM-signaal.

- Een gemoduleerde spanning is samengesteld uit een aantal sinusvormige spanningen met frequenties, die in de buurt van de draaggolffrequentie liggen. Er zijn *geen* spanningen met modulatiefrequenties in aanwezig.
- Een gemoduleerd signaal beslaat een bepaalde frequentieband. Deze is des te breder naarmate de frequentieband van het modulatiesignaal groter is.
- 

Een AM-spanning heeft een draaggolfspanning. Hij bevat verder voor elk sinusvormig signaal van het totale modulatiesignaal 2 bij elkaar horende zijbandspanningen met de frequenties $f_d + f_{m_1}$ en $f_d - f_{m_1}$ (resp. $f_d + f_{m_2}$ en $f_d - f_{m_2}$, enz.).

- In een radio-ontvanger doen parallelkringen dienst om één gewenst radiosignaal door te laten en alle andere tegelijkertijd ontvangen signalen te onderdrukken.



"Afstemmen op het gewenste station" komt neer op het gelijk maken van de resonantiefrequentie van de gebruike resonantiekring(en) aan de draaggolffrequentie van het gewenste AM-signaal. Dit geschiedt door óf de *C* óf de *L* van de kring(en) te variëren.

TEST UZELF

1. Een radiozender A zendt uit op een golflengte van 300 m, een andere radiozender zendt uit op een golflengte van 200 m. De draaggolffrequentie van de eerste zender A, is ten opzichte van die van de tweede zender B:

hoger O

gelijk O

lager O

de golflengte en de frequentie hebben niets met elkaar te maken; dus kan ik er niets over zeggen. O

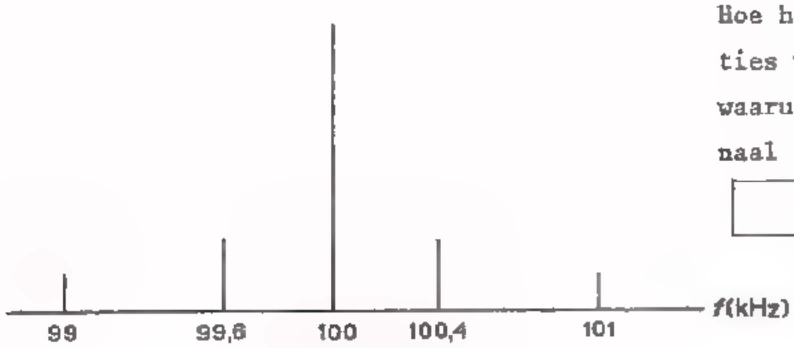
2. U roept kort "ha" in een put van 85 m diepte. Het geluid plant zich voort naar de bodem en wordt daar teruggekaatst, om als "echo" weer boven te komen. Hoe lang na het roepen hoort u de echo ?

[s]

3. Het licht van de zon doet er 8 minuten over om de aarde te bereiken. Hoe ver is de zon van ons verwijderd?

[km]

4.



Hoe hoog zijn de frequenties van de spanningen, waaruit het modulatiesignaal is samengesteld?

[ ]

5. Het radiosignaal van Hilversum I heeft een golflengte van 300 m. Hoe groot is de draaggolffrequentie van dit radiostation?

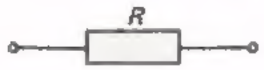
f = [MHz]

G E H E U G E N S T E U N

FILTERS

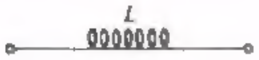
- De eigenschappen van filters kan men beredeneren met behulp van:

  R , X_C en X_L

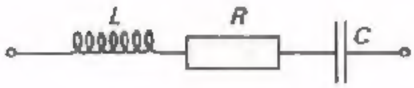


R is onafhankelijk van de frequentie.

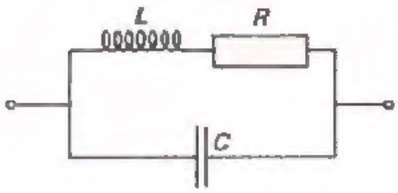
$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$



$$X_L = \omega L$$

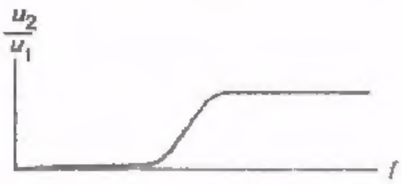


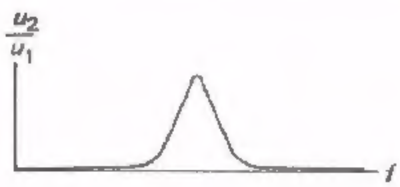
De impedantie van een seriekring is klein bij de resonantiefrequentie en groot daarbuiten.

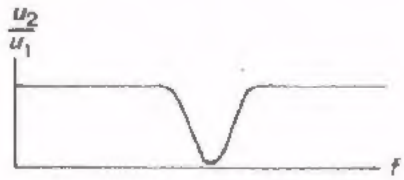


De impedantie van een parallelkring is groot bij de resonantiefrequentie en klein daarbuiten.

- Men onderscheidt volgende filtersoorten:



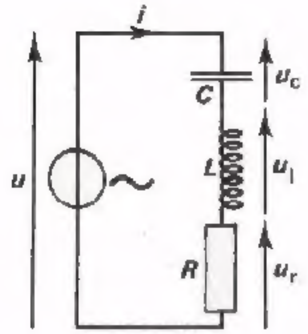


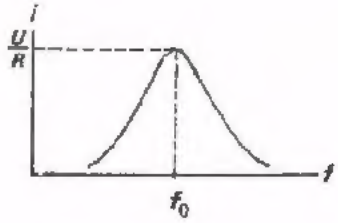


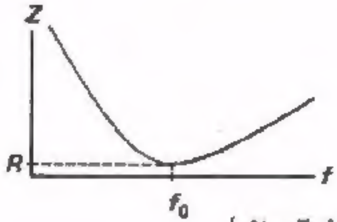
GEHEUGENSTEUN

RESONANTIEKRINGEN

- DE SERIEKRING



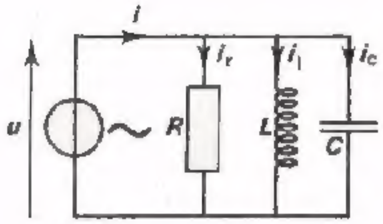


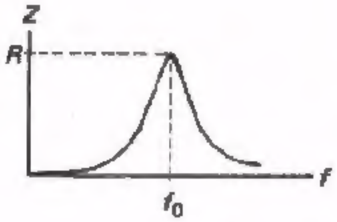


$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\left| \begin{array}{l} u_r = u \\ \\ u_1 = u \end{array} \right. \quad \text{en} \quad \left| \begin{array}{l} Q = \dfrac{u_1}{u} = \dfrac{\omega_0 L}{R} \\ \\ Q = \dfrac{u_c}{u} = \dfrac{1/\omega_0 C}{R} \end{array} \right.$$

- DE ZUIVERE PARALLELKRING

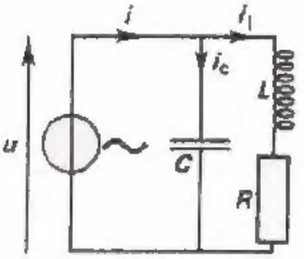


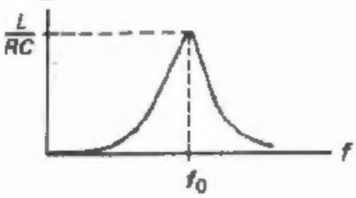


$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\left| \begin{array}{l} i_r = i \\ \\ i_1 = i_c \end{array} \right. \quad \text{en} \quad \left| \begin{array}{l} Q = \dfrac{i_1}{i} = \dfrac{R}{\omega_0 L} \\ \\ Q = \dfrac{i_c}{i} = \dfrac{R}{1/\omega_0 C} \end{array} \right.$$

- DE PRAKTISCHE PARALLELKRING





$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$i_1 = i_c \ \text{en} \left\{ \begin{array}{l} Q = \dfrac{i_1}{i} = \dfrac{\omega_0 L}{R} \\ \\ Q = \dfrac{i_c}{i} = \dfrac{1/\omega_0 C}{R} \end{array} \right.$$