



Inhoudsopgave

9	Versterkerschakelingen	3
9.1	Wat leer je in dit hoofdstuk.....	3
9.2	Gelijkstroominstelling van versterkende elementen	3
9.2.1	Inleiding.....	3
9.3	Koppelen van versterkertrappen	4
9.3.1	Inleiding.....	4
9.3.2	Weerstandskoppeling.....	4
9.3.3	Transformatorkoppeling	6
9.3.4	Over soorten condensatoren en hun toepassingen.	7
9.4	Opgaven bij paragraaf 9.3	14
9.4.1	Opgave 9-1.....	14
9.4.2	Opgave 9-2.....	15
9.4.3	Opgave 9-3.....	16
9.4.4	Opgave 9-4.....	17
9.4.5	Opgave 9-5.....	18
9.4.6	Opgave 9-6.....	19
9.5	Klassen van instelling van versterkers	20
9.5.1	Inleiding.....	20
9.5.2	Klasse A.....	20
9.5.3	Klasse B	21
9.5.4	Klasse C	22
9.5.5	Klasse AB	22
9.5.6	De klassen van instelling samengevat	23
9.6	Opgaven bij paragraaf 9.5	24
9.6.1	Opgave 9-7.....	24
9.6.2	Opgave 9-8.....	25
9.7	Uitwerkingen van de opgaven.....	26
9.7.1	Uitwerking van Opgave 9-1.	26
9.7.2	Uitwerking van Opgave 9-2.	27
9.7.3	Uitwerking van Opgave 9-3.	28



9.7.4	Uitwerking van Opgave 9-4.	29
9.7.5	Uitwerking van Opgave 9-5.	30
9.7.6	Uitwerking van Opgave 9-6.	31
9.7.7	Uitwerking van Opgave 9-7	32
9.7.8	Uitwerking van Opgave 9-8	33



9 Versterkerschakelingen

9.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

We beginnen dit hoofdstuk met het instellen van transistoren en FET's. Instellen is nodig om te zorgen dat een versterkend element een zo groot mogelijk signaal met minimale vervorming kan doorgeven. Een versterkend element moet bovendien niet zoveel energie dissiperen dat het te heet wordt en daardoor stuk gaat.

Een versterker bestaat meestal uit meer dan één versterkertrap. Die trappen moeten onderling gekoppeld kunnen worden. We bespreken twee manieren waarmee dat kan. Dat zijn weerstandskoppeling en transformator koppeling.

Omdat daarbij condensatoren een rol spelen en we, op dit punt aangekomen, al op verschillende manieren met condensatoren hebben kennis gemaakt, geven we in dit hoofdstuk een overzicht van verschillende soorten en voor welke toepassing ze geschikt zijn. De bespreking van elke soort gaat vergezeld van een foto, een enkele keer twee.

Dan verwerken we nog een stukje examenonduidelijkheid. Dat zijn de klassen van instelling van versterkerschakelingen. In de exameneisen voor N komen ze niet voor, maar in examens worden ze wel genoemd. Lees de betreffende tekst in paragraaf 9.5, probeer die te snappen maar stamp hem niet in je hoofd. Onthoud wel de samenvatting in sub-paragraaf 9.5.6 goed. Deze instructie vind je in paragraaf 9.5 opnieuw.

9.2 Gelijkstroominstelling van versterkende elementen

9.2.1 Inleiding

Versterkende elementen worden, op wat niet nader uitgewerkte uitzonderingen na, zo ingesteld dat ze een zo groot mogelijk signaal met zo min mogelijk vervorming kunnen verwerken. We gaan in dit hoofdstuk voorbij aan de zogenoemde basisschakelingen. Voor elk soort versterkend element zijn dat er drie. Dat stukje elektronica valt buiten het N-programma. Wie wil "spieken", kan terecht in hoofdstuk 8 van de F-cursus.

In theorie kun je alle gelijkspannings- en stroominstellingen regelen door bronnen voor de juiste gelijkspanning in de schakeling op te nemen. Die wordt daar ingewikkeld en duur van. In de praktijk is één spanningsbron, de voedingsspanning, in de meeste gevallen genoeg. De benodigde spanningsverschillen worden dan met behulp van weerstanden gerealiseerd.

We hebben in hoofdstuk 8 bijvoorbeeld kennis gemaakt met de sourceweerstand bij de N-FET die maakte dat de sourcespanning hoger was dan de gatespanning. Dat is hetzelfde als een negatieve gatespanning ten opzichte van de source. Bij een P-FET moet de source dan natuurlijk een beetje negatief worden ten opzichte van de gate. Bij een bipolaire transistor moet de basis-emitterovergang geleiden, zodat bij een NPN de basis iets positief (ruwweg

de diode-drempelspanning) ten opzichte van de emitter moet zijn. Bij een PNP is dat weer andersom: de basis is 1 drempelspanning negatief ten opzichte van de emitter.

In paragraaf 9.5 behandelen we enkele bijzondere (klassen van) instellingen. Die zijn voornamelijk van belang in eindversterkers van zenders.

9.3 Koppelen van versterkertrappen

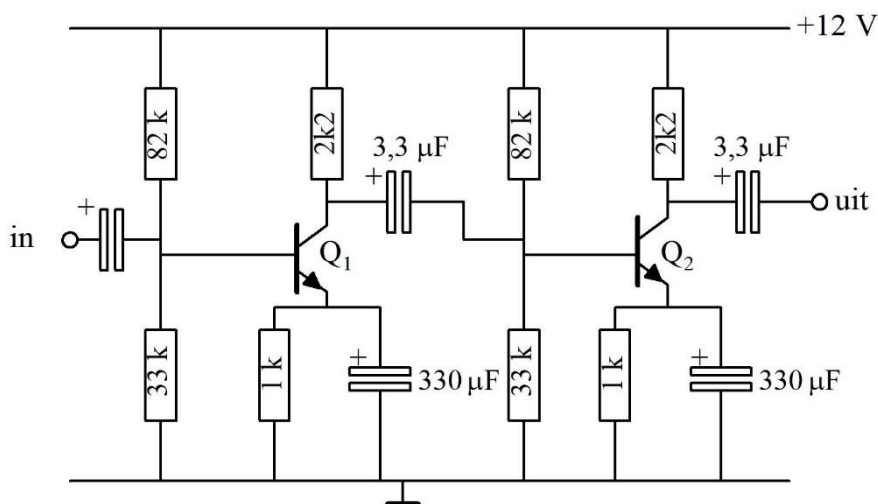
9.3.1 Inleiding

Het is niet vaak mogelijk, voldoende versterking te krijgen met één enkele versterkertrap. Er moeten dan trappen achter elkaar worden geschakeld. Elke versterkertrap geeft zijn versterkte signaal door naar de volgende trap. Daarbij moet gelijkstroom/spanning worden uitgesloten, om de gelijkstroominstelling van de volgende versterkertrap niet te beïnvloeden. Een simpel draadje/printspootje volstaat daarom niet. Het moet met iets dat alleen de wisselspanning overbrengt. De namen van de koppelmethoden zijn

- Weerstandskoppeling
- Smoorspoelkoppeling (alleen in de F-cursus)
- Transformatorkoppeling

9.3.2 Weerstandskoppeling

Over de juistheid van de naam ‘weerstandskoppeling’ valt te twisten, want het eigenlijke koppellement is de condensator. We bekijken Figuur 9.3-1.



Figuur 9.3-1. Schema voor weerstandkoppeling tussen laagfrequent versterkertrappen met NPN-transistoren.

Dit is een versterker voor laagfrequent signaal, zoals menselijke spraak. Deze versterker is voorzien van twee NPN-transistoren (Q_1 en Q_2). De spraak wordt via een microfoon (niet in het schema) omgezet in elektrische trillingen. Wisselstroom dus. Die moet worden versterkt, want een microfoon geeft maar een klein mini-spanninkje of -stroompje af. De versterkertrap rond Q_1 ontvangt het signaal via de elektrolytische condensator achter het



woord 'in'. De weerstandswaarden zijn aangegeven met 'k', wat $k\Omega$ betekent. $2k2$ betekent $2,2 k\Omega$.

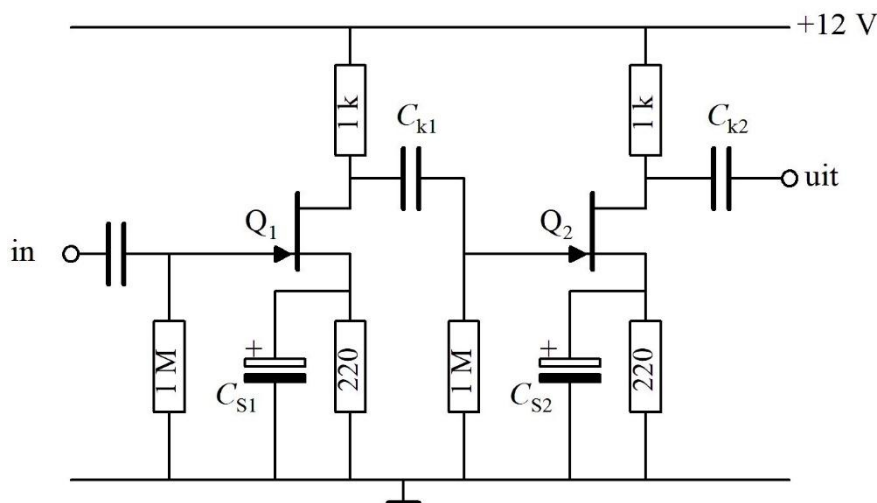
Hier dient zich een vraag aan. Waarom een elco? Antwoord: de ingangsweerstand van een transistor is in een schakeling als deze betrekkelijk laag. De koppelcondensator vormt met die weerstand een hoogdoorlaatfilter (hoofdstuk 5). Dan moet voor de te versterken frequenties de reactantie van de condensator flink lager zijn dan die ingangsweerstand. De combinatie van lage frequenties en lage weerstand (of reactantie) maakt een hoge capaciteit nodig. Die is die alleen met een elco goed te realiseren. De trage elco (hoofdstuk 7) is snel genoeg voor het frequentiegebied dat onze oren aankunnen (20 Hz tot 20 kHz bij kinderen; 20 Hz- 5 kHz bij ouderen). Dat frequentiegebied heet ook wel *audiofrequentie*.

Nog een puntje. In hoofdstuk 8 zagen we dat de spanningsversterking van een transistor ongeveer gelijk is aan de collectorweerstand gedeeld door de emitterweerstand. Dat zou in dit geval $2,2/1 \approx 2$ per versterkertrap opleveren. Dat is weinig. Daarom staat parallel aan de emitterweerstand van $1 k\Omega$ een elco van $330 \mu F$. Samen leveren die een impedantie die voor spraakfrequenties, in amateurzenders ongeveer 300-3000 Hz, veel lager ligt dan de $1 k\Omega$ van de weerstand. Daardoor ontstaat een aanzienlijk hogere versterking.

Je kunt je afvragen, waarom die weerstand dan niet eenvoudig kan worden weggelaten. Het antwoord is dat de emitterweerstand ook dient voor de gelijkstroominstelling van de transistor. De condensator heeft daarop geen invloed.

De condensator van $3,3 \mu F$ tussen de collector van Q_1 en de basis van Q_2 koppelt het versterkte signaal van de collector van Q_1 door naar de basis van Q_2 . Deze versterkte wisselspanning komt bovenop de gelijkspanning op de basis van Q_2 . Weerstandskoppeling loopt dus inderdaad via een condensator, zoals in het begin van deze sub-paragraaf al is opgemerkt. Zo'n versterker versterkt alleen wisselstroom/spanning! De schakeling rond Q_2 is een kopie van die rond Q_1 .

Weerstandskoppeling kan ook worden toegepast tussen FET-versterkertrappen (Figuur 9.3-2). Omdat de ingangsimpedantie van een FET veel hoger is dan die van een "gewone" transistor, worden voor de koppeling geen elco's toegepast, maar condensatoren met lagere capaciteitswaarden (denk aan $100 nF$), meestal met kunststof als diëlektricum.



Figuur 9.3-2. Schema met weerstandskoppeling van N-FET-versterkertrappen.

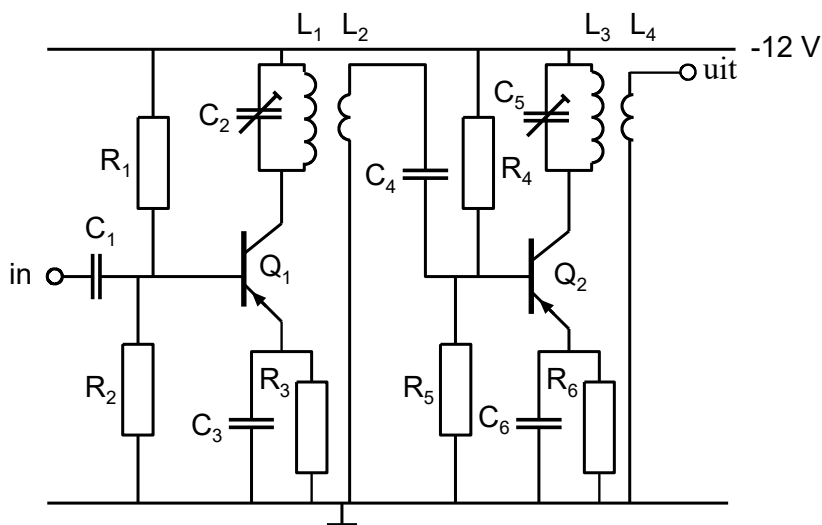
De sourceweerstand van 220 ohm zijn wegens hun lage weerstandswaarde voorzien van elco's, net als de emitterweerstand in Figuur 9.3-1. Condensatoren op dit soort plekken worden meestal 'ontkoppelcondensator' genoemd. Zo ook de condensatoren parallel aan de emitterweerstand in Figuur 9.3-1. Probeer zelf de overeenkomsten en verschillen tussen Figuur 9.3-1 en Figuur 9.3-2 te vinden.

9.3.3 Transformatorkoppeling

Bij transformatorkoppeling doorloopt het uitgangssignaal van een versterkertrap de primaire van een transformator die via zijn secundaire de ingang van de volgende versterkertrap aanstuurt.

Lang geleden werd transformatorkoppeling veel toegepast in voorversterkertrappen van audioversterkers. Tegenwoordig is deze manier van koppelen grotendeels vervangen door weerstandskoppeling. Voor de veel hogere radiofrequenties zijn transformatoren veel kleiner en handzamer dan voor LF, omdat de zelfinductie van de wikkelingen veel lager mag zijn.

Een koppeltransformator kan een "gewone" transformator zijn, maar één of beide wikkelingen kunnen ook zijn uitgevoerd als afgestemde kring, dus met een condensator. In het laatste geval hebben we te maken met inductief gekoppelde afgestemde kringen. Figuur 9.3-3 toont een schakeling met twee transformatoren met één afgestemde wikkeling; voor de verandering nu eens met PNP-transistoren.



Figuur 9.3-3. Voorbeeld van transformatorkoppeling tussen PNP-transistoren met per trafo één afgestemde wikkeling.

De functies van de verschillende onderdelen zijn:

- C₁ voorkomt dat gelijkspanning van de signaalbron de instelling van Q₁ beïnvloedt;
- R₁, R₂ regelen met emitterweerstand R₃ de gelijkstroominstelling van de basis van Q₁.
- C₂ instelcondensator voor de parallelkring C₂, L₁.
- L₂ uitkoppelwikkeling van de kring, in feite de secundaire van de trafo
- C₃ ontkoppelcondensator voor de emitterweerstand R₃ van Q₁.

Daarna herhaalt zich het spelletje met respectievelijk C₄, R₄ en R₅, R₃ en Q₂, C₅ voor de kring van C₅ en L₃ en vervolgens L₄, R₆ en C₆.

9.3.4 Over soorten condensatoren en hun toepassingen.

Sinds hoofdstuk 4, waarin voor het eerst over condensatoren werd gesproken, is een aantal soorten condensatoren langsgekomen. Wie bij het begin van de cursus is begonnen, heeft er inmiddels een aantal gezien. Omdat daarover in N-examens vragen worden gesteld, lopen we de vereiste soorten langs. Dan zit de informatie op één plek en niet verspreid door de hoofdstukken. Condensatoren worden doorgaans onderscheiden naar diëlektricum.

Luchtcondensatoren

Lucht is een diëlektricum voor condensatoren met lage capaciteit. De diëlektrische constante van lucht is laag, maar luchtcondensatoren geven nauwelijks verliezen bij hoge frequenties. Dat zijn twee eigenschappen die prettig samengaan, want hoe hoger de frequentie, des te kleiner zijn de benodigde capaciteiten in de schakeling.

Bijna alle luchtcondensatoren zijn regelbaar. Dat wil zeggen dat hun capaciteit op de één of andere manier kan worden ingesteld. Meestal worden ze gebruikt om een afstembare kring op een bepaalde frequentie af te stemmen.

Foto 9.3-1 toont een zogenoemde draaicondensator met lucht als diëlektricum. Er zijn twee stellen min of meer halfcirkelvormige platen, één verbonden met een draaibare as, de ander vast opgesteld tussen keramische houders (wit, rechtsonder op de foto). Hoe groter het deel van de draaibaar opgestelde platen dat tussen de vaste zit, des te groter de capaciteit.

De vrij grote afstand tussen de platen betekent dat deze draaicondensator bestand is tegen hoge spanningen (1 kV of daaromtrent).

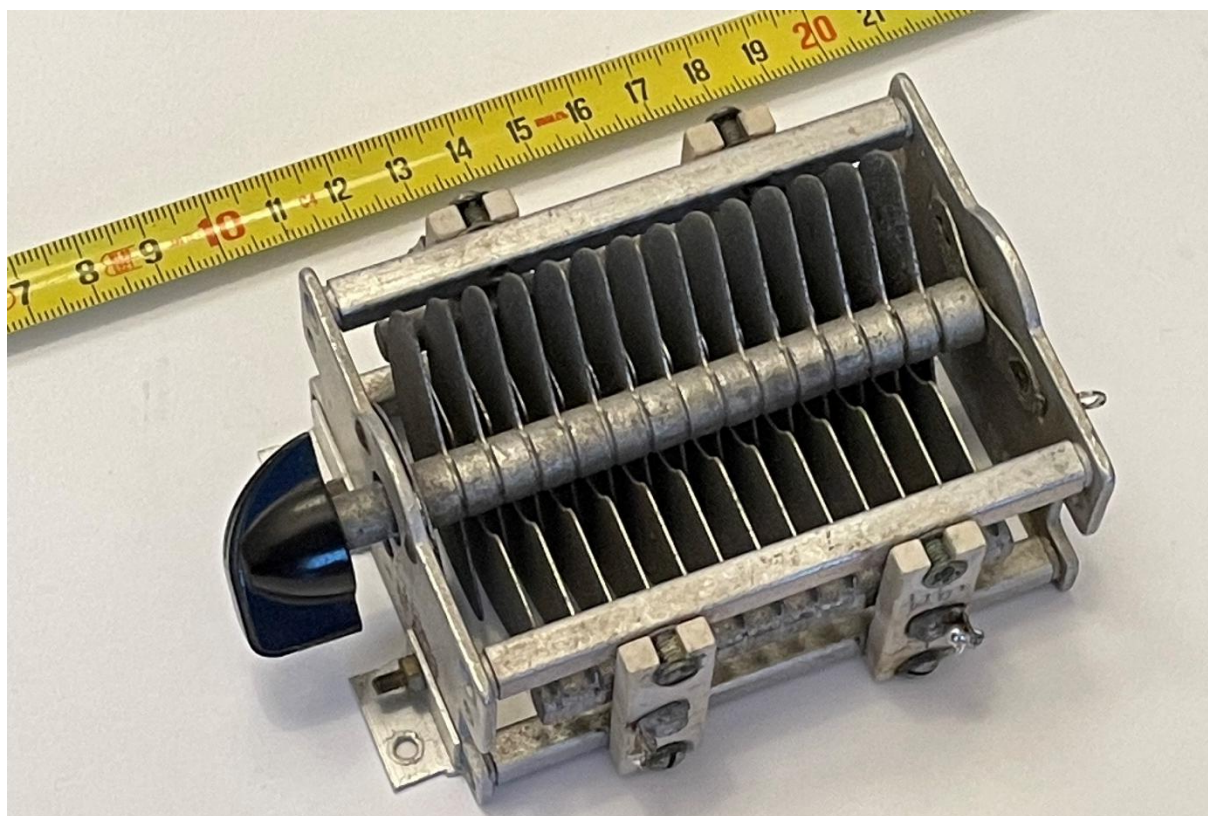


Foto 9.3-1 Variabele luchtcondensator. Dit exemplaar is instelbaar met de afstemknop links die is gemonteerd op de draaibare as. De plaatafstand is groot (enkele mm), waardoor de maximale spanning meer dan 1 kV bedraagt.

Variabele luchtcondensatoren hebben zelden een hogere capaciteit dan ongeveer 500 pF.

Foto 9.3-2 laat twee veel kleinere exemplaren zien met kleine plaatafstand voor lagere spanningen en met kleinere capaciteit. De rode cijfertjes op de voet geven de maximale capaciteit aan: 13 en 21 pF. Ze zijn bedoeld om éénmaal te worden ingesteld, waarna de schakeling waarin ze zitten zijn werk mag doen. Dit soort variabele condensator wordt ook wel aangeduid met de term *trimcondensator* of kortweg *trimmer*.

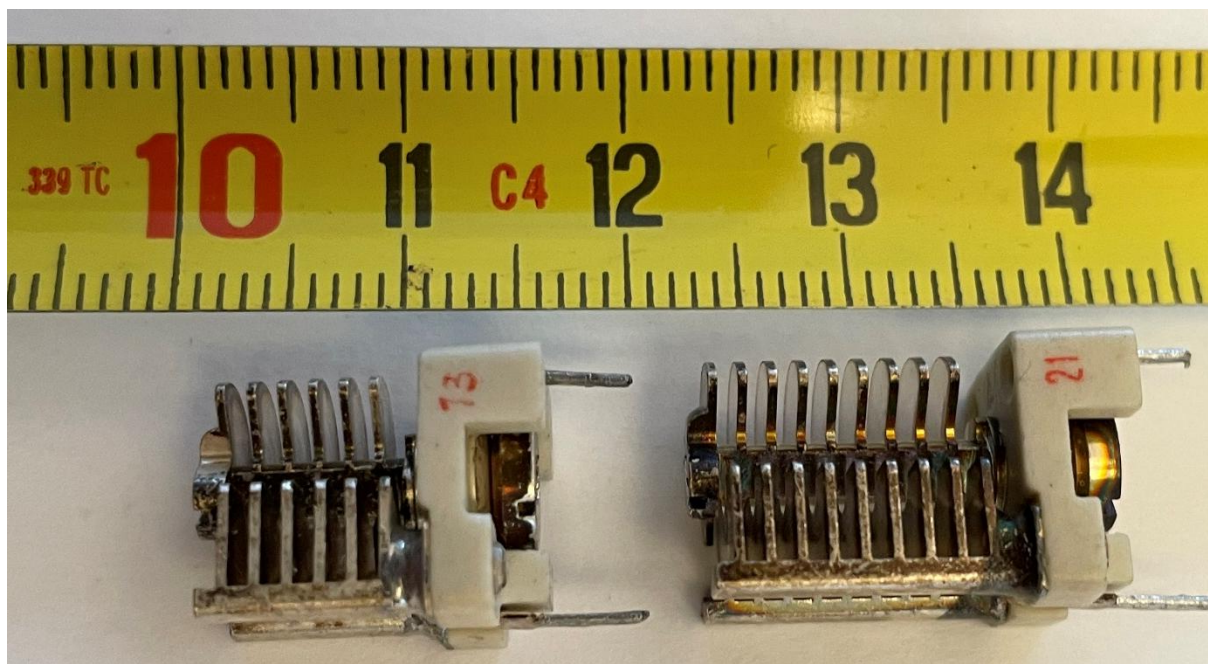


Foto 9.3-2. Twee kleine variabele luchtcondensatoren. De maximale capaciteit in pF staat in rode cijfers op de keramische voet. Door de kleine plaatafstand zijn ze geschikt voor relatief lage spanningen. Er kan geen afstemknop aan. Ze worden eenmalig ingesteld met een zogenoemde trimsleutel, dat is een soort geïsoleerde schroevendraaier, via de gleuf bovenop (links redelijk te zien), niet die onder de witte voet.

Micacondensatoren

Mica is een groep mineralen die gemakkelijk te splijten zijn in heel dunne plaatjes. Sommige micamineralen zijn doorzichtig. Die werden ook gebruikt om ruitjes in kolenkachels te maken, zodat je het vuur kon zien zonder dat vonken in de kamer terechtkwamen. Mica is een goed diëlektricum en geschikt voor hoge frequenties. Er zijn bijvoorbeeld afstemcondensatoren mee gemaakt die veel compacter waren dan de exemplaren op Foto 9.3-1. Uiteindelijk hebben de luchtcondensatoren het toch gewonnen, vooral omdat lucht voor hoge frequenties net wat betere eigenschappen heeft dan mica. Mica wordt nog wel verwerkt in vaste condensatoren en in trimcondensatoren. Foto 9.3-3 laat twee micatrimmers zien (links, max. capaciteit ongeveer 300 en 250 pF) en twee vaste micacondensatoren (50 en 360 pF).



Foto 9.3-3. Twee instelbare micacondensatoren (links) en vaste micacondensatoren (rechts). De schroef in de instelbare condensatoren ('trimmers') brengt de platen naar elkaar toe (hogere capaciteit) of van elkaar af (lagere capaciteit). De roodgekleurde vaste micacondensatoren hebben een waarde van 50 pF en 360 pF.

Keramische condensatoren

De naam zegt het: het diëlektricum is een keramisch materiaal, meestal met goede hoogfrequent-eigenschappen, maar vaak is de capaciteit nogal temperatuurafhankelijk.

De capaciteit kan variëren van enkele pF tot meer dan 100 nF. De hogere waarden worden in schakelingen vaak gebruikt voor ontkoppelingsdoeleinden (afvoeren van ongewenste hoge frequenties). Hun vorm is meestal min of meer platrond of -rechthoekig. Foto 9.3-4 laat een aantal zien.

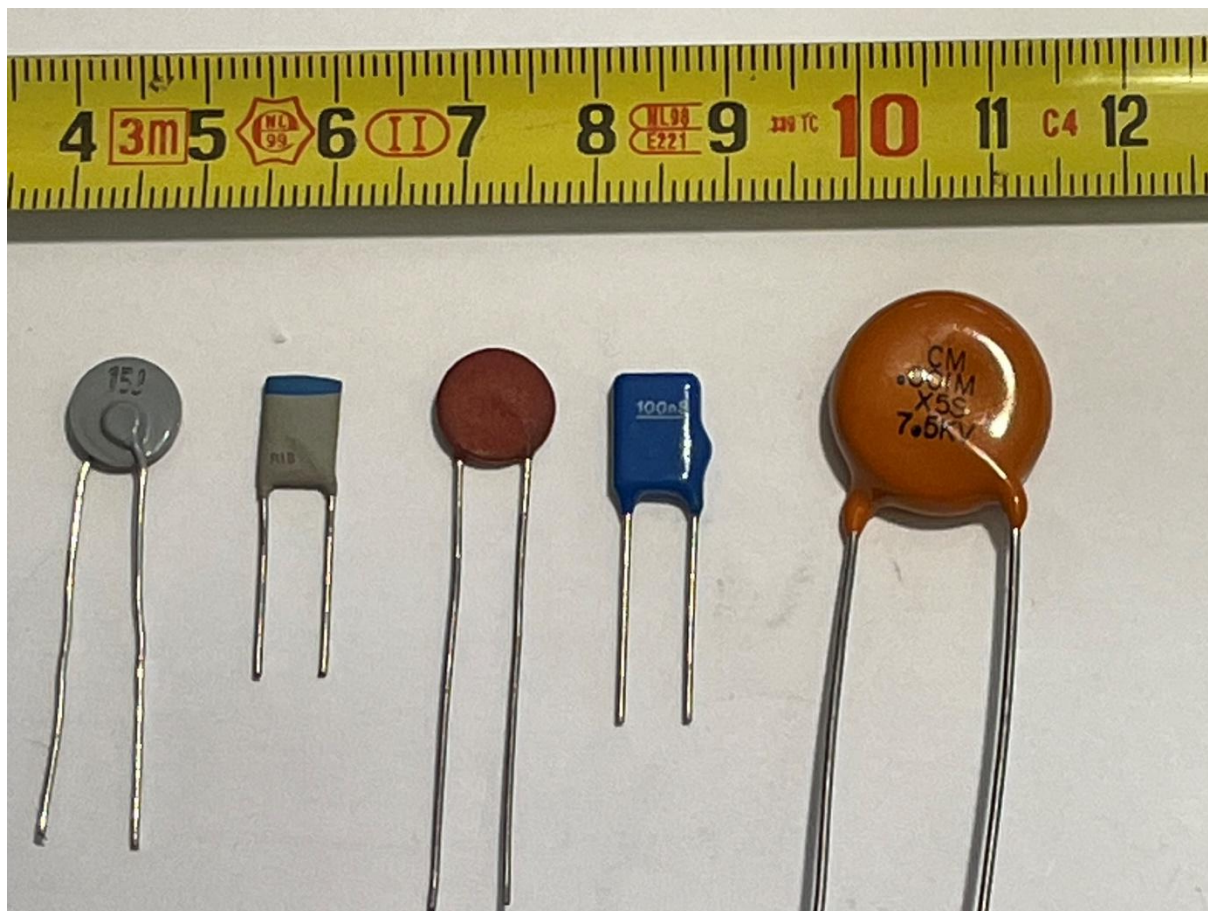


Foto 9.3-4. Vaste keramische condensatoren. Van links naar rechts: 15 pF, 150 pF voor HF-toepassingen, 10 nF en 100 nF voor ontkoppelingsdoeleinden en 1 nF met een maximale werkspanning van 7,5 kV voor toepassing in bijvoorbeeld zenders met buizen.

Kunststofcondensatoren

Sommige kunststoffen ('plastics') zijn goed te gebruiken als diëlektricum, meest voor frequenties tot een aantal MHz. Foto 9.3-5 laat er enkele zien. Links op de foto een trimcondensator met kunststof diëlektricum, dan twee polystyreencondensatoren. De twee rechthoekige blokjes rechts zijn polycarbonaat types met gestapelde plaatjes en laagjes diëlektricum daartussen. Ze zijn door hun stapeling beter geschikt voor hogere frequenties dan de polystyreentypes waarin plaat en diëlektricum zijn opgerold. Dat laatste geeft meer zelfinductie dan stapeling.

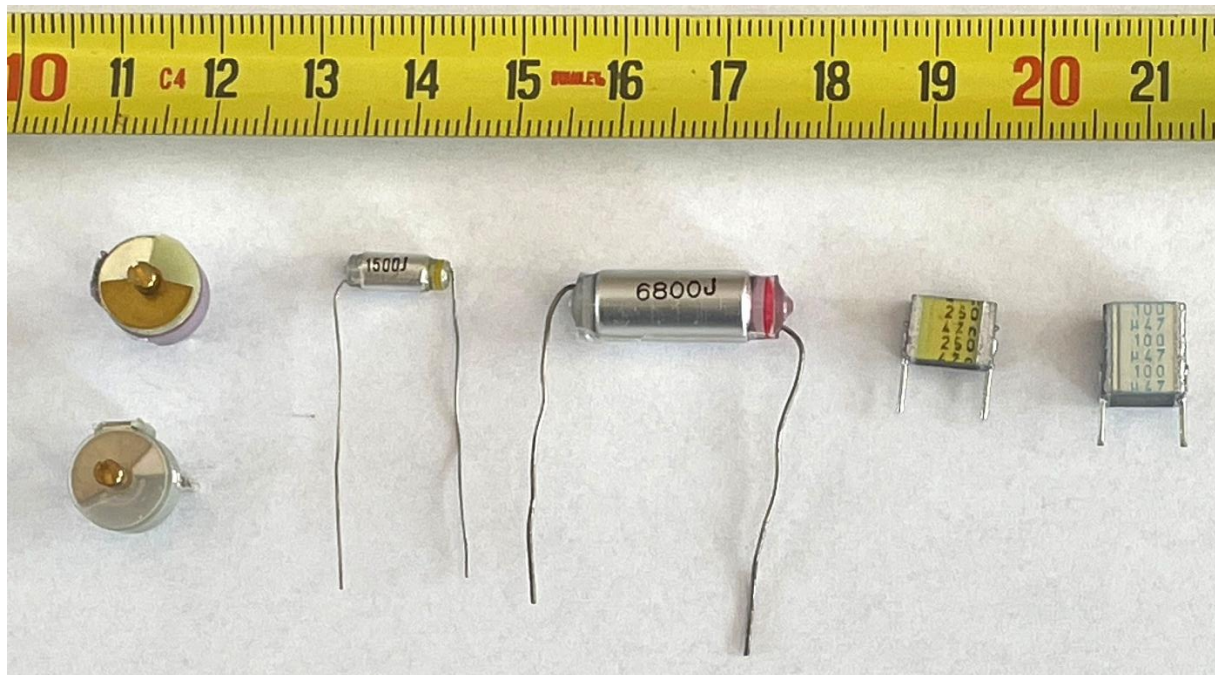


Foto 9.3-5. Kunststofcondensatoren. Links twee kleine trimcondensatoren van max. 60 (boven, zijkant paars) en 40 pF, (onder, zijkant grijs); rechts daarvan twee polystyreencondensatoren van 1,5 nF en 6,8 nF en rechts twee polycarbonaatcondensatoren van 47 nF en 470 nF.

Elektrolytische condensatoren (elco's)

De meeste elco's zijn bipolair, dat wil zeggen dat ze een plus- en een min aansluiting hebben. Verkeerd om aansluiten of aansluiten op wisselspanning kan leiden tot uiteenspatten, meestal met een luide plof. Tegenover deze (on)hebbelijkheid staat dat met elco's heel grote capaciteiten mogelijk zijn (tot duizenden μF). Hun frequentiebereik is beperkt tot enkele tientallen kHz. Ze worden vooral toegepast in afvlakschakelingen van netvoedingen (hoofdstuk 7) en ook als koppelcondensator in transistorschakelingen voor audiofrequenties (Figuur 9.3-1). Audiofrequenties zijn frequenties in het hoorbare gebied, ruwweg 20 Hz-20 000 Hz.



Foto 9.3-6. Drie elco's. Van links naar rechts: 47 μF met een maximale werkspanning van 50 V, 100 μF en 385 V en een grote van 6800 μF met een maximale werkspanning van 40 V.



9.4 Opgaven bij paragraaf 9.3

9.4.1 Opgave 9-1.

In LF-versterkers wordt bij voorkeur de volgende koppelmethode toegepast

- A. Transformatorkoppeling
- B. Weerstandskoppeling
- C. Alle soorten koppeling
- D. Smoorspoelkoppeling

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





9.4.2 Opgave 9-2.

In schema's van LF-versterkers met transistoren komt men vaak elco's als koppelcondensator tegen en bij FET's zelden. Dat komt door

- A. De lage spanning waarop transistoren meestal werken
- B. De lage spanning tussen basis en emitter
- C. De hoge impedantie op de collector
- D. De lage ingangsimpedantie op de basis en de hoge op de gate

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





9.4.3 Opgave 9-3.

Op een condensator van 2 cm lang en een diameter van 1 cm staat dat de capaciteit 220 μF is. Dit is vrijwel zeker een

- A. Elektrolytische condensator
- B. Luchtcondensator
- C. Kunststofcondensator
- D. Micacondensator

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



9.4.4 Opgave 9-4.

Een condensator bestaat uit:

- A. Mica, keramisch materiaal of kunststof
- B. Gevulkaniseerd rubber
- C. Twee geleidende lagen, gescheiden door een isolator
- D. Twee isolerende lagen, gescheiden door een geleider

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 

9.4.5 Opgave 9-5.

Op een condensator staat de aanduiding '30 μ F 25 V'. Dat betekent:

- A. De capaciteit is 30 μ F als over de condensator een spanning staat van 25 V
- B. De capaciteit is 30 μ F per 25 V
- C. De capaciteit is 30 μ F en de maximale werkspanning is 25 V
- D. De spanning over de condensator moet 25 V bedragen, voordat de condensator zijn capaciteit van 30 μ F bereikt.

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





9.4.6 Opgave 9-6.

Bij weerstandskoppeling van twee versterkertrappen is het koppelende element:

- A. Een weerstand
- B. Een condensator
- C. Een spoel
- D. Een afgestemde transformator

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





9.5 Klassen van instelling van versterkers

9.5.1 Inleiding

Deze leerstof wordt niet genoemd in de exameneisen. Wel komt de stof terug in sommige examenvragen. Ons advies: probeer de stof in deze paragraaf te lezen en te snappen en onthoud alleen goed de inhoud van sub-paragraaf 9.5.6.

Een versterkend element wordt gevoed met gelijkstroom en transporteert daardoor stroom maar één kant op. Wisselstroom versterken kan daarom alleen samen met gelijkstroom. Samen opgeteld moeten ze een gelijkstroom van wisselende sterkte zijn. Om wisselstroomvermogen te versterken, 'betaal' je dus met een extra portie gelijkstroomvermogen. Voor versterking van spanningen geldt hetzelfde.

Als het gaat om voorversterkers met kleine vermogens, bekommeren we ons daar niet om. Een zender die bijvoorbeeld 100 W aan de antenne afgeeft, is een ander geval. De 100 W is wisselstroomvermogen en komt uit de eindversterker. Die kan daarvoor wel 300 W of meer aan gelijkstroomvermogen nodig hebben. Dat laatste gaat in 'nutteloze' warmte op.

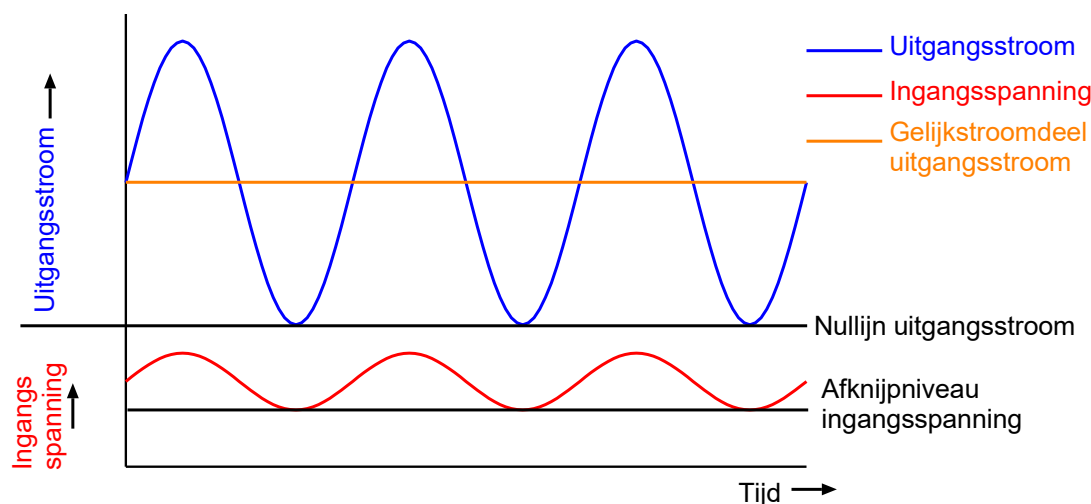
De vraag is dan, of dit niet wat efficiënter kan. Het antwoord is ja, maar er is een prijs: vervorming van het signaal. Dat betekent harmonischen. In een goede muziekversterker moet je die altijd vermijden. In een zender zijn harmonischen vaak met een laagdoorlaatfilter te onderdrukken. Zo 'repareer' je het signaal.

We kennen drie klassen van instelling: A, B en C. Bij het onderscheid draait het om de *afknijpspanning*. Die heeft elk versterkend element. We bekommeren ons niet over polariteit, want die is voor NPN en N-FET, respectievelijk PNP en P-FET tegengesteld. Het is de spanning over de ingang waarbij de stroom door het element stopt. In de figuren heet het *afknijpniveau ingangsspanning*. Ligt de momentele ingangsspanning 'onder' het afknijppunt, dan gebeurt er niets. Erboven wordt in een ideaal element elke momentele waarde van het signaal op de ingang evenveel versterkt.

We beschouwen het ingangssignaal (rood getekend) als een spanning; het uitgangssignaal (blauw getekend) als een stroom. De versterkers zijn ideaal. Strikt genomen versterken ze niet, maar zetten ze een spanning om in stroom. Hoe dit toch tot vermogensversterking leidt, is een verhaal dat niet onder de N- exameneisen valt, wel onder F.

9.5.2 Klasse A

We bespreken **Klasse A** aan de hand van Figuur 9.5-1.



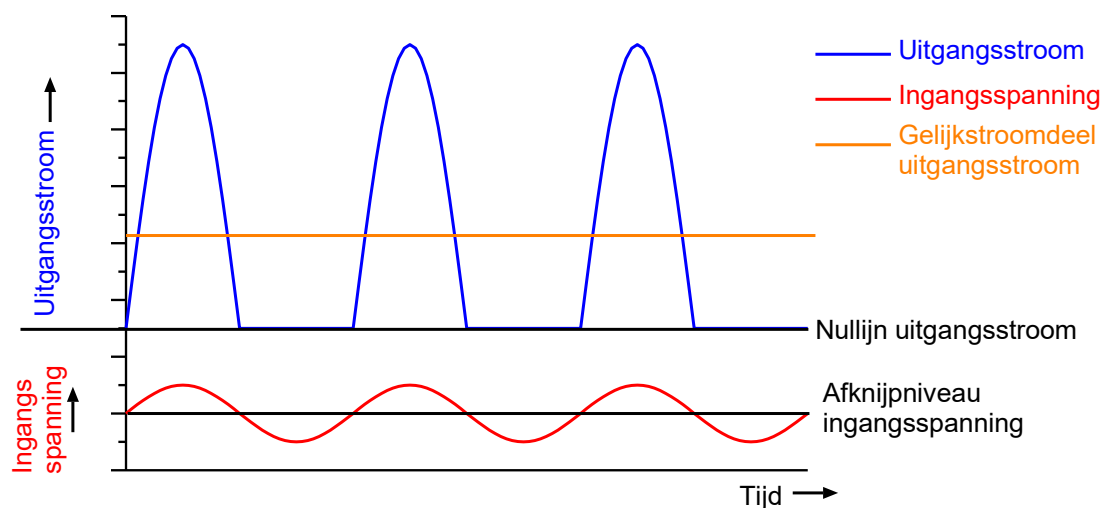
Figuur 9.5-1. Signalen in een ideale Klasse A-versterker. Het ingangssignaal komt niet onder de afknijpspanning.

De ingangsspanning ligt op of boven het afknijpniveau. De uitgangsstroom heeft dezelfde vorm als de ingangsspanning.

Een klasse A-versterker vervormt in ideale vorm niet, in werkelijkheid weinig. Het vermogensrendement is in theorie maximaal 33%, in de praktijk hooguit ongeveer 25%, al naar gelang de grootte van het ingangssignaal en in mindere mate de eigenschappen van het versterkende element. **Samengevat: weinig vervorming, laag rendement.**

9.5.3 Klasse B

In klasse B ligt de positieve sinushelft van het ingangssignaal boven het afknijpniveau en de negatieve helft eronder.

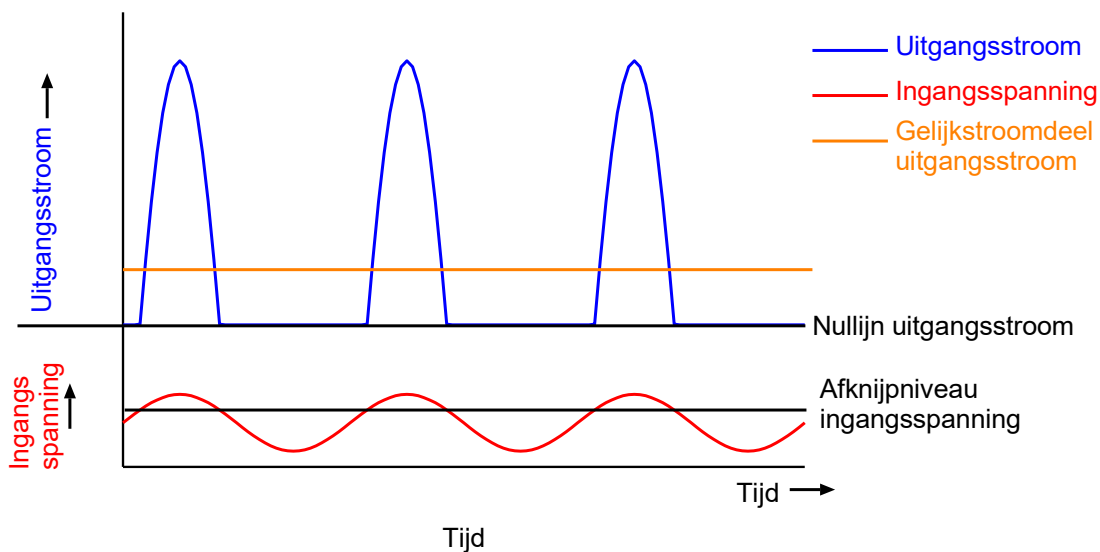


Figuur 9.5-2. Signalen in een klasse B-versterker. Het ingangssignaal ligt half boven en half onder de afknijpspanning

Alleen de positieve halve periode van het signaal wordt versterkt; de andere helft wordt onderdrukt. Het rendement is in theorie maximaal net geen 45%, in de praktijk hoogstens 40%. Dat is flink meer dan de 25% van klasse A. Doordat een volledige halve golf wordt versterkt, is de oorspronkelijke golfvorm met een goed laagdoorlaatfilter te herstellen. Veel klasse B-versterkers zijn dubbel: één helft versterkt de positieve periodehelft, de ander de negatieve, waarna beide helften weer worden samengevoegd. Dat heet een *balansversterker* (geen examenstof). **Samengevat: meer vervorming dan klasse A, hoger rendement.**

9.5.4 Klasse C

Extremer dan klasse B is klasse C. Van de te versterken halve periode ligt alleen het middendeel boven het afknijpniveau. Van deze halve periode wordt dus alleen het middelste deel versterkt; al het andere wordt onderdrukt (Figuur 9.5-3). Daarmee is het rendement hoger dan voor klasse B; 60% is bereikbaar. Helaas is ook de vervorming groter. Niet elk soort signaal komt daar -ook na restauratie via een laagdoorlaatfilter- ongeschonden doorheen. Wat overeind blijft is de frequentie, maar als ook de vorm van het signaal informatie bevat, werkt klasse C niet goed. Iets meer hierover komt in hoofdstuk 12.



Figuur 9.5-3. Signalen in een klasse C-versterker. Het ingangssignaal ligt grotendeels onder de afknijpspanning

Samengevat: meer vervorming dan klasse B, hoger rendement, beperkt geschikt als eindtrap.

9.5.5 Klasse AB

Klasse AB houdt het midden tussen de klassen A en B. Omdat versterkende elementen, in het bijzonder transistoren, in de buurt van het afknijpniveau de neiging hebben minder lineair (dus sterker niet-lineair) te worden, wordt deze klasse vooral bij transistoren nogal eens toegepast. Eén van de periodehelften wordt volledig versterkt, van de andere een



deel. We werken deze tussenklasse niet verder uit. Het rendement ligt tussen dat van klasse A en klasse B. Als hij in een balansversterker wordt toegepast, doet hij wat vervorming betreft maar weinig onder voor een klasse A-versterker (geen examenstof).

9.5.6 De klassen van instelling samengevat

- Klasse A: de kleinste vervorming en het laagste rendement (25% of minder)
- Klasse B: versterking van een halve periode leidt tot grotere vervorming dan klasse A en een hoger rendement (tot ongeveer 40%)
- Klasse C: nog meer vervorming dan in klasse B; rendement tot ongeveer 60%; niet geschikt voor alle soorten alle soorten zenders.
- Klasse AB: Compromis als klasse B ondanks maatregelen toch te veel vervorming geeft. Rendement tussen klasse A en klasse B in.



9.6 Opgaven bij paragraaf 9.5

9.6.1 Opgave 9-7

De volgorde van de klassen van instelling van minder naar meer vervorming is:

- A. Klasse C, AB, A, B
- B. Klasse A, AB, C, F
- C. Klasse A, AB, B, C
- D. Klasse C, B, AB, A

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





9.6.2 Opgave 9-8

De volgorde van de klassen van instelling van lager naar hoger vermogensrendement is:

- A. Klasse C, AB, A, B
- B. Klasse A, AB, B, C
- C. Klasse A, AB, C, F
- D. Klasse C, B, AB, A

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





9.7 Uitwerkingen van de opgaven

9.7.1 Uitwerking van Opgave 9-1.

In LF-versterkers wordt bij voorkeur de volgende koppelmethode toegepast

- A. Transformatorkoppeling
- B. Weerstandskoppeling**
- C. Alle soorten koppeling
- D. Smoorspoelkoppeling

Uitwerking

Weerstandskoppeling is de gangbare manier van koppelen bij LF-versterkers. Die werken meest in het audio-gebied. Dat loopt van omstreeks 10 Hz tot 20 000 Hz. Daarbinnen moet de versterking voor elke frequentie ongeveer dezelfde zijn. Het gedrag van de meeste weerstandtypen is binnen dat gebied (en ruim daarbuiten) frequentie-onafhankelijk.

Dat laatste geldt maar beperkt voor transformatoren. Die worden dan ook vooral toegepast in HF-versterkers. Daarin is de te versterken bandbreedte in vergelijking met LF doorgaans heel klein ten opzichte van de frequentie.

Dat betekent dat antwoord B juist is.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



9.7.2 Uitwerking van Opgave 9-2.

In schema's van LF-versterkers met transistoren komt men vaak elco's als koppelcondensator tegen en bij FET's zelden. Dat komt door

- A. De lage spanning waarop transistoren meestal werken
- B. De lage spanning tussen basis en emitter
- C. De hoge impedantie op de collector
- D. De lage ingangsimpedantie op de basis en de hoge op de gate**

Uitwerking

Elco's zijn door hun traagheid niet geschikt voor hoge frequenties. Een elco heeft wel de eigenschap van een hoge capaciteit bij klein volume. Die hoge capaciteit geeft ook bij lage audiofrequenties nog een goede signaaloverdracht, ook bij de lage ingangsimpedanties op de basis van transistoren. Daarom zie je in LF-versterkers met transistoren voornamelijk weerstandskoppeling met elco's als koppellement.

Bij FET's is de gate-impedantie heel hoog en daarom zijn elco's voor de signaalkoppeling niet nodig. Meestal worden daarvoor kunststofcondensatoren gebruikt. Dat komt neer op antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





9.7.3 Uitwerking van Opgave 9-3.

Op een condensator van 2 cm lang en een diameter van 1 cm staat dat de capaciteit 220 μF is. Dit is vrijwel zeker een

- A. Elektrolytische condensator
- B. Luchtcondensator
- C. Kunststofcondensator
- D. Micacondensator

Uitwerking

Er is maar één soort condensator die bij deze kleine afmetingen een zo grote capaciteit heeft. Dat is de elco, oftewel elektrolytische condensator.

Antwoord A.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



9.7.4 Uitwerking van Opgave 9-4.

Een condensator bestaat uit:

- A. Mica, keramisch materiaal of kunststof
- B. Gevulkaniseerd rubber
- C. Twee geleidende lagen, gescheiden door een isolator**
- D. Twee isolerende lagen, gescheiden door een geleider

Uitwerking

Een condensator kan nooit alleen maar uit isolerend materiaal bestaan. Daarmee vallen de antwoorden A en B af. Een condensator heeft twee aansluitingen. Die moeten elk aan een geleider vastzitten. Dat wil zeggen twee geleidende lagen. Dan valt antwoord D ook weg, want een plaatje metaal met aan weerskanten een isolerende laag doet elektrisch gezien niets.

Antwoord C



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



9.7.5 Uitwerking van Opgave 9-5.

Op een condensator staat de aanduiding '30 μ F 25 V'. Dat betekent:

- A. De capaciteit is 30 μ F als over de condensator een spanning staat van 25 V
- B. De capaciteit is 30 μ F per 25 V
- C. De capaciteit is 30 μ F en de maximale werkspanning is 25 V**
- D. De spanning over de condensator moet 25 V bedragen, voordat de condensator zijn capaciteit van 30 μ F bereikt.

Uitwerking

De capaciteit van een condensator is onafhankelijk van de spanning. Daarmee vervallen de antwoorden A, B en D. C blijft over en dat is inderdaad het juiste antwoord.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



9.7.6 Uitwerking van Opgave 9-6.

Bij weerstandskoppeling van twee versterkertrappen is het koppelende element:

- A. Een weerstand
- B. Een condensator**
- C. Een spoel
- D. Een afgestemde transformator

Uitwerking

Weerstandskoppeling is -zoals in de cursustekst ook al is opgemerkt- eigenlijk een misleidende benaming. De weerstand zet de collector- of drainstroom om in een spanning die via een condensator wordt doorgekoppeld naar de volgende versterkertrap. Kijk eventueel nog eens naar Figuur 9.3-1 en/of Figuur 9.3-2.

Antwoord B.



Terug naar de opgave



9.7.7 Uitwerking van Opgave 9-7

De volgorde van de klassen van instelling van minder naar meer vervorming is:

- A. C, AB, A, B
- B. A, AB, C, F
- C. A, AB, B, C
- D. C, B, AB, A

Uitwerking

Klasse A vervormt het minst; klasse C het meest. Daartussenin zitten (in die volgorde) AB en B.

Antwoord C.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





9.7.8 Uitwerking van Opgave 9-8

De juiste volgorde van de klassen van instelling van lager naar hoger vermogensrendement is:

- A. Klasse C, AB, A, B
- B. Klasse A, AB, B, C**
- C. Klasse A, AB, C, F
- D. Klasse C, B, AB, A

Uitwerking

In klasse A is het rendement het laagst, hooguit 25%. In klasse C is die het hoogst: tot wel 60%. De klassen AB en B liggen er -in die volgorde- tussenin.

Antwoord B.



Terug naar de opgave