

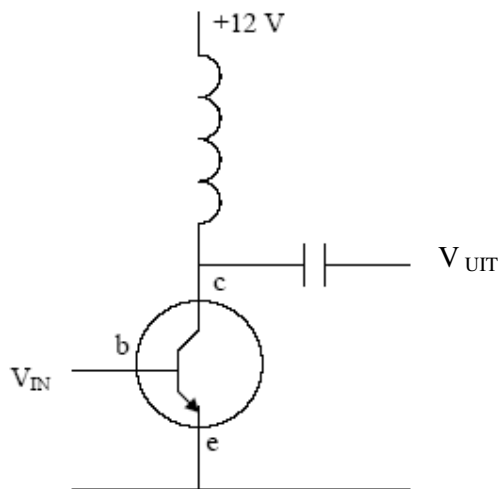
Hoofstuk 17 – Die Transistorversterker

Versterking is die proses waardeur die krag van 'n sein verhoog word. Aangesien krag gelyk is aan $V \times I$, moet òf die spanning òf stroom òf moontlik albei, maar nie noodwendig albei nie, verhoog word. Dit is moontlik om 'n sein te versterk sonder om die spanning daarvan te versterk maar op voorwaarde dat die stroom versterk word. Omgekeerd is dit moontlik om die spanning van 'n sein te versterk – miskien deur die gebruik van 'n verhogingstransformator – sonder dat versterking plaasvind. In die geval van 'n verhogingstransformator word die spanning verhoog maar die stroom verminder eweredig, dus die krag bly dieselfde en geen versterking vind plaas nie.

Versterking is belangrik vir radio-ontvangers. Die seine wat van die antenna ontvang word mag so klein soos -130 dBm (10^{-16} W = 2^{-12} pV). Om dit hoorbaar te maak, moet dit versterk word tot ongeveer 0 dBm (1mW), wat 'n versterking met 'n faktor 10^{13} vereis. Dikwels is die versterking in 'n radio-ontvanger meer as dit om vir die verliese in komponente soos filters te vergoed.

Klas C Versterkers.

Transistors word in baie versterkers gebruik omdat 'n groot kollektorstroom deur 'n klein basisstroom beheer kan word. Kom ons kyk na 'n eenvoudige transistorversterker ontwerp om by radiofrekwensies te werk.



Hier word die insetsein direk op die basis van die transistor aangewend en die uitsetsein word by die kollektor weggeneem. Die kring word 'n "gemeenskaplike emittor" versterker genoem, omdat die die emittor gemeenskaplik is tot beide die ingang- en uitgangkringe.

Die induktor en die kapasitor vervul twee rolle. Eerstens laat die induktor gelykstrom deur na die kollektor terwyl RF-seine geblokkeer word. Dit maak die kollektor van die transistor positief relatief tot die emittor wat nodig is vir korrekte werking. Dit voorsien ook 'n kring vir stroom om te vloei van die $+12$ V bron na die kollektor en so word die krag vir 'n versterkte sein voorsien. Die kapasitor in die uitsetkring laat die versterkte wisselstroom deur maar dit blokkeer die gelykstromspanning na die volgende kring.

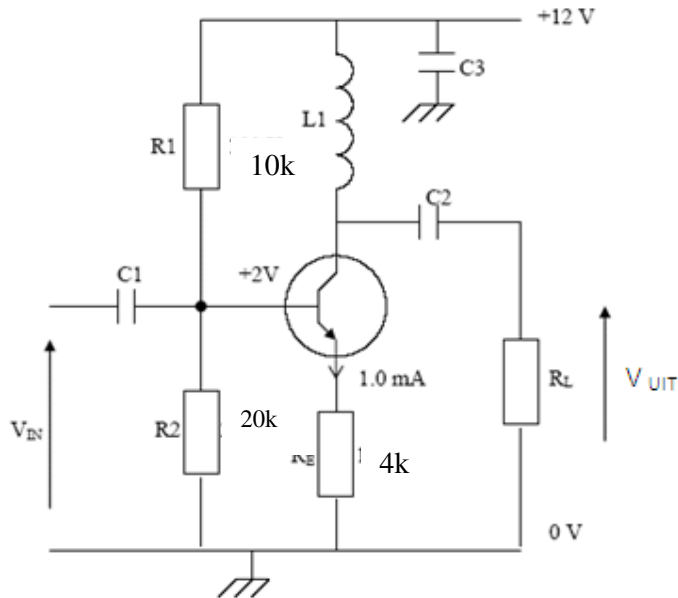
Kom ons bekyk die werking van hierdie kring van nader. Indien die insetsein minder as 0,6 V, die basis-emitterspanning vir 'n silikontransistor is, sal geen stroom in die kollektor vloei nie en die kollektorspanning +12 V wees. Indien die insetsein 0,6 V oorskry, sal die transistor begin om te gelei, en sal die kollektorstroom gelyk wees aan die transistor se beta maal die basisstroom. Die induktor sal enige skielike verandering in die vloei van stroom teenwerk want die stroomverandering sal 'n spanning oor die induktor opwek wat die kollektorspanning sal verminder. Wanneer die insetspanning na minder as 0,6 V daal sal die transistor ophou om te gelei en a.g.v. 'n vermindering van stroom in die induktor sal 'n spanning in die in die teenoorgestelde rigting opgewek word wat die kollektorspanning tot selfs 24 V (dubbel die toevoerspanning) kan verhoog. As die insetsein se spanning weer meer as 0,6 V is sal die transistor begin te gelei en sal die kollektorspanning verlaag en so aan. Hierdie veranderings in kollektorspanning verteenwoordig 'n WS-sein wat deur die kapasitor deurgelaat word as 'n uitsetsein.

Dus sal die transistor in hierdie versterker nie die hele tyd gelei nie. Eintlik sal dit vir minder as 'n halfsiklus van elke WS-siklus gelei aangesien dit slegs sal begin gelei wanneer die insetspanning 0,6 volt oorskry. 'n Versterker wat vir minder as 'n halwe siklus gelei word 'n klas C versterker genoem. Aangesien klas C versterkers nie die vorm van die insetsein akkuraat weergee nie, word baie vervorming veroorsaak. Klas C versterkers het nogtans die voordeel dat hulle baie meer doeltreffend is as ander versterkers, omdat meeste van die van die krag wat aan die transistor gelever word (+12 V) in die uitsetsein verskyn. Doeltreffendheid van 60 – 70% is algemeen in klas C versterkers. Let ook op dat daar geen sin in is om te probeer om 'n sein met 'n kruinwaarde van minder as 0,6 V te probeer versterk nie aangesien dit nooit sterk genoeg sal wees om die transistor te laat begin gelei nie!

Waarvoor kan 'n versterker wat 'n sterk insetsein benodig en heelwat vervorming veroorsaak maar relatief doeltreffend is dan gebruik word? Klas C versterkers word dikwels gebruik vir die RF-kragversterkers in GG (Morsekode), en FM-senders. In hierdie toepassings is die vervorming (ook genoem nieliniarieteit) nie 'n groot probleem is nie aangesien die ongewenste harmonieke maklik deur laedeurlaatfilters in die uitset verwyder kan word. Klas C versterkers is *nie geskik* vir gebruik in enkelsyband- (ESB) of amplitude gemoduleerde (AM.) senders nie; hier word *liniêre* versterkers gebruik. Later sal die terms AM, GG en FM verduidelik word.

Die Klas A Gemeenskaplike Emitter Versterker.

Om klein seine getrou te versterk gebruik ons gewoonlik klas A versterkers. In hierdie klas versterker vloei die kollektorstroom gedurende die hele siklus van die insetgolfvorm. 'n Tipiese kring word hier onder aangedui:



R1 en R2 vorm 'n *spanningsverdelers* wat 'n sekere *voorspanning* by die basis aanwend. Byvoorbeeld as die waardes van $R1 = 100\text{ k}\Omega$ en $R2 = 20\text{ k}\Omega$ is, sal die spanning op die basis $2,0\text{ V}$ wees. Aangesien dit meer is as $0,6\text{ V}$ sal dit voldoende wees om die transistor aan te skakel en sal stroom van die basis na die emittor vloei. Ons weet dat die basis/emittor spanning ongeveer $0,6\text{ V}$ is, dus sal die spanning oor R_E , die emittorweerstand, $2,0 - 0,6 = 1,4\text{ V}$ wees en sal die stroom deur R_E , en dus ook deur die emittor van die transistor $= 1,4\text{ V} \div 1,4\text{ k}\Omega = 1,0\text{ mA}$ wees.

Nou, hoeveel hiervan is basis/emittorstroom en hoeveel kollektor/emittorstroom? Dit hang af van die Beta van die transistor. Indien die beta 99 is, dan is die kollektor/emittorstroom 99 maal die basis/emittorstroom, dus 1% van die emittorstroom kom van die basis en 99% van die emittor. In hierdie voorbeeld sal die kollektorstroom $0,99\text{ mA}$ wees.

Maar, wag 'n bietjie. Ons weet reeds dat die betawaardes van transistors verskil en kan daar nie op staat gemaak word dat dit 'n spesifieke waarde sal wees nie. Dus as die beta 499 i.p.v. 99 is, sal die kollektorstroom $499/500$ van die emittorstroom wees of $0,998\text{ mA}$. en nie $0,990\text{ mA}$ nie. Dus blyk dit dat die kollektorstroom tot 1% konstant is ongeag die verandering in die beta van 99 tot 499. Vir alle praktiese doeleindes kan aanvaar word dat die kollektorstroom gelyk is aan die emittorstroom en kan die basisstroom buite rekening gelaat word maar. dit is baie belangrik want dit is wat die transistor laat aanskakel.

Ten slotte bekyk ons die inset- en uitsetimpedansies van die versterker. 'n RF-insetsein "sien" 'n impedansie bestaande uit weerstande $R1$ en $R2$ in parallel. Waarom parallel? Wel, die bronspanning, 12 V in hierdie geval, het altyd 'n wisselspanning-(WS) baan na aarde. In hierdie geval word die WS-baan voorsien deur die aflakkingkapasitor $C3$ wat verbind is tussen die 12 V bron en aarde. Dus is die insetimpedansie $100\text{ k}\Omega$ in parallel met $20\text{ k}\Omega$ of $16,7\text{ k}\Omega$. (Daar is 'n addisionele komponent bestaande uit die emittorweerstand R_E vermenigvuldig met die Beta van die transistor wat ook in parallel met die inset is, maar dit is gewoonlik baie hoër as die voorspanningsweerstande $R1$ en $R2$ en mag geïgnoreer word).

Wat van die uitsetimpedansie? Aangesien die kollektor van die transistor soos 'n goeie stroombron werk, (die stroom wat vloei is beta keer die basisstroom en is nie afhanklik van die kollektorspanning nie) is die effektiewe kollektorimpedansie redelik hoog. Die induktor

L1 sal ook gekies wees om 'n hoë reaktansie by die ontwerpfrekwensie hê. Dus is die uitsetimpedansie redelik hoog sonder om 'n werklike waarde daaraan te heg.

Wat van die wins van die versterker? Gestel die basisspanning word met 'n klein bietjie verander, genaamd V_{IN} . Aangesien die basis/emittorspanning konstant 0,6 V bly, sal die emittorspanning met die dieselfde hoeveelheid verander. Dit veroorsaak dat die emittorstroom I_E ook met 'n klein hoeveelheid verander. $\Delta I_E = V_{IN} \div R_E$. Aangesien die kollektorstroom byna dieselfde is as die emittorstroom, sal die uitsetstroom met die selfde hoeveelheid verander as die emittorstroom. Dus $I_{UIT} = V_{IN} \div R_E$. Die effek wat dit op die uitsetspanning sal hê, sal afhang van die lasweerstand R_L . Om presies te wees:

$$\begin{aligned} V_{UIT} &= I_{UIT} \times R_L \\ &= (V_{IN} \times R_E) \times R_L \\ &= (V_{IN} \times R_L) \div R_E \end{aligned}$$

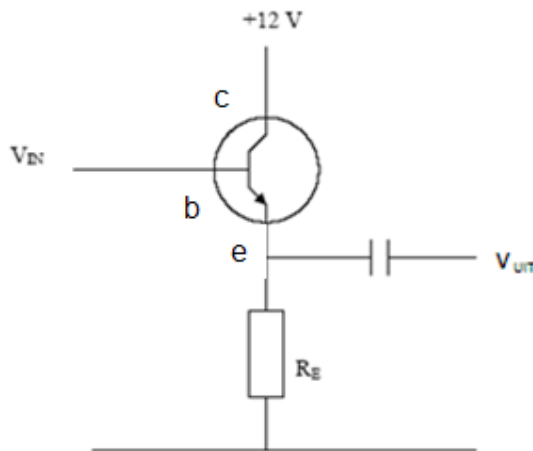
Dus die spanningswins van die versterker is R_L/R_E . Om die kragwins van die versterker te bereken word 'n spesifieke waarde van die lasweerstand verlang. Gestel dit is $16,7k\Omega$, dieselfde waarde as die insetimpedansie van die versterker. Dan is die kragwins net die kwadraat van die spanningswins. Die spanningswins is $16,7k\Omega \div 1,4k\Omega = 11,9$ en die kragwins is die kwadraat hiervan nl. 142 of 21,5 dB. Dit is tipies die wins van 'n kleinsein gemeenskaplike emitter versterker.

Let op dat in die ontwerp, omdat die basis van die transistor 'n voorspanning van +2 V het, sal die transistor gelei mits die insetspanning nie laer as -1,4V gaan nie. Solank as dit insetsein laer is as 1,4 V piek sal die transistor oor die hele siklus van die insetgolfvorm gelei, wat 'n klas A versterker is. Dit sal die insetsein getrou versterk wat dieselfde golfvorm by die uitset sal lewer. Dit is dus 'n klas A *liniêre* versterker wat vir ESB- en AM.-seine sonder vervorming gebruik kan word.

In hierdie versterker vloei die kollektorstroom die hele tyd en mors baie krag. 'n Klas A-versterker is dis minder doeltreffend as klas C versterker. Klas A versterkers is omtrent net 25 % doeltreffend, dus bereik net 25% van die krag wat deur die kragbron verskaf word, die uitsetlas. Die ander 75% eindig deur die uitsettransistor te verhit!

Die gemeenskaplike-kollektor (Emittervolger) Versterker

Beskou die onderstaande kring:



Gestel die insetspanning is altyd tussen 0,6 V en 12 V, dus gelei die transistor gedurig (m.a.w. dit werk in Klas A). In hierdie geval word die uitsetspanning by die emittorweerstand i.p.v. die kollektor van die transistor weggeneem. Wat weet ons van die uitsetspanning? Omdat die basis/emittorspanning altyd 0,6V is wanneer die transistor gelei, moet die emittorspanning die basisspanning volg, hoewel dit altyd 0,6 V minder as die basisspanning sal wees. Dus enige in die insetspanning sal gevolglik 'n gelyke verandering in uitsetspanning of gevolg hê. Dus het hierdie versterker 'n spanningswinst van 1. Hierdie kring word 'n gemeenskaplike kollektorversterker genoem, ook bekend as 'n emittorvolger want die emittorspanning volg die basisspanning. (Let op dat die GS-voorspanning deur die kapasitor by die uitset geblokkeer word sodat die uitsetspanning nie noodwendig 0,6 V laer as die insetspanning is nie).

Hierdie kring word 'n "gemeenskaplike kollektor" versterker genoem en is ook bekend as 'n "emittor volger" aangesien die emittorspanning die basisspanning volg.

Waarom word 'n versterker gebruik as die uitsetspanning dieselfde is as die insetspanning? Die rede is, die impedansies. Die uitsetimpedansie van 'n emittorvolger is laag, daarom is dit 'n goeie spanningsbron (want die uitsetspanning is nie afhanklik van die lasweerstand nie). Die insetimpedansie is egter hoog, dus belas dit nie eintlik die voorafgaande stadium nie. Dit is dus 'n goeie versterker om as 'n bufferstadium gebruik te word om verandering in die insetimpedansie van die stadium wat volg, die voorafgaande stadiumimpedansie te affekteer. Omdat die lae uitsetimpedansie in staat is om baie meer krag te voorsien as die die hoë insetimpedansie, verskaf die gemeenskaplike kollektorversterker 'n kragwinst hoewel dit geen spanningswinst het nie.

Die Gemeenskaplike Basisversterker

Daar is 'n derde transistorversterkersamestelling bekend as die "gemeenskaplike basisversterker, wat minder gebruik word as die gemeenskaplike emittor of gemeenskaplike kollektor samestellings. Dit het 'n lae insetimpedansie, slegs 'n paar Ohm en 'n hoë uitsetimpedansie en 'n stroomwinst van een. Dit kan beskou word as 'n "stroomvolger" want die insetstroom is dieselfde as die uitsetstroom. Dit kan ook 'n kragwinst verskaf mits die lasweerstand groter is as die insetimpedansie van die versterker.

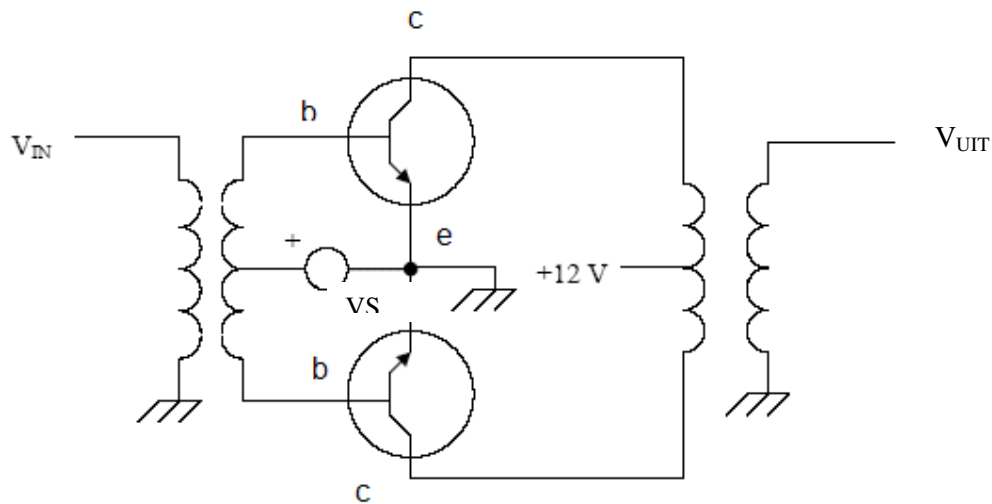
Die Klas AB versterker

In 'n klas A-versterker gelei die transistor of ander uitseteenheid vir die volle siklus van die insetgolfvorm. Dus gelei dit gedurende die volle 360° van insetsiklus. Klas A versterkers is liniêr en verskaf 'n akkurate weergawe van die insetgolfvorm by die uitset en veroorsaak min vervorming maar is ondoeltreffend.

In 'n klas C versterker gelei die transistor vir minder as 'n halwe siklus, dus minder as 180° . Klas C versterkers is redelik doeltreffend maar baie nie-liniêr wat groot vervorming meebring by die uitset. Daar is die klas B wat presies oor die helfte van die siklus (180°) van die insetgolfvorm gelei. Dit word egter nie in die algemeen gebruik nie.

Klas AB versterkers gebruik twee transistors in die uitsetstadium wat in trek/stoot samestelling werk. Die een transistor gelei gedurende die positiewe halfsiklus van die golfvorm en die ander transistor gedurende die negatiewe halfsiklus van die golfvorm. Albei transistors werk in klas B, dit meen dat hulle elkeen vir die helfte van die insetgolfvorm (180°) gelei. Tussen die twee uitsettransistors kan dus die positiewe en negatiewe halfsiklus van die insetgolfvorm weergegee word soos in 'n klas A-versterker. Daarvandaan die term klas AB - twee klas B transistors wat saam gebruik word om dieselfde effek as 'n klas A-versterker te verskaf.

'n Eenvoudige trek/stoot klas AB versterkerkring verskyn hier onder.



In hierdie kring, is die voorspanning V_{VS} net genoeg sodat die twee transistors 'n klein stroom deurlaat wanneer geen insetsein teenwoordig is nie. Die transformator by die inset dien as 'n "faseverdeler" om die insetsein in twee seine te verdeel wat 180° uit fase is en by die basisse van die transistors aangewend word. Wanneer 'n positiewe sein by die basis van een transistor aangewend word, gelei dit sterker, terwyl die spanning by die basis van die ander transistor verminder en dit swakker en dit staak om te gelei. Die transistors skakel aan en af vir elke halfsiklus, dus elkeen van die twee transistors gelei vir helfte van die siklus of omtrent 180° . Die transformator by die uitset voeg die uitset van die twee transistors bymekaar, dus hoewel elkeen net vir 'n halwe siklus gelei, is die saamgevoegde uitset 'n getroue weergawe van die insetsein.

V_{VS}

Klas AB versterkers het die voordeel dat daar nie 'n groot konstante GS voorgespande stroom deur die transistors, soos in klas A, vloei nie, hulle is dus baie meer doeltreffend as klas A versterkers want hulle verskaf albei die positiewe en negatiewe halfsiklusse van die insetsein. Hoewel hulle steeds klein vervorming meebring, bv. oorkruisvervorming by die punt waar een van die transistors staak om te gelei en die ander een begin om te gelei. Dit kan egter binne perke gehou word, dus kan deeglik ontwerpte klas AB versterkers aangewend word vir gebruik as kragversterkers vir ESB- en AM-seine.

Opsomming

'n Versterker is 'n kring wat die krag van 'n sein vermeerder.

Die gemeenskaplike emmitorversterker het beide spanning- en stroomwins. Gemeenskaplike emittorversterkers besit hoë uitsetimpedansie en middelmatige ($10\text{ k}\Omega$ of so) insetimpedansie.

Die gemeenskaplike kollektorversterker is ook bekend as die "emittorvolger" want die uitset, wat die spanning op die basis volg, word by die emittor weggevoer. Die gemeenskaplike kollektorversterker het eenheid spanningswins maar kan steeds kragwins lewer as die uitsetkrag groter is as die insetkrag. Die gemeenskaplike kollektorversterker besit 'n hoë insetimpedansie en lae uitsetimpedansie.

Die gemeenskaplike basis versterker het 'n lae insetimpedansie en 'n hoë uitsetimpedansie en 'n stroomwins van een (die uitsetstroom is dieselfde as die insetstroom).

Klas A versterkers gelei vir die volle siklus (360°). Dit het lae vervorming (goeie liniariteit) maar is redelik ondoeltreffend. Byna alle kleinseinversterkers is klas A want doeltreffendheid in nie belangrik nie.

Klas B versterkers gelei presies vir 'n halwe siklus. Hulle word selde gebruik.

Klas C versterkers gelei vir minder as 'n halwe siklus (minder as 180°). Hulle is baie doeltreffend maar is nie liniêr nie en kan vervorming veroorsaak. Hoewel hulle as kragversterkers gebruik kan word vir GG-, AM- en FM-seine, kan hulle nie vir ESB aangewend word nie.

Klas AB versterkers is twee klas B uitsettransistors wat in trek-stoot samestelling werk om beide die positiewe en die negatiewe siklusse te versterk. Hulle is meer doeltreffend as klas A versterkers en hoewel hulle meer vervorming as klas A versterkers veroorsaak kan hulle steeds as kragversterkers vir ESB seine aangewend word.

Hersieningsvrae.

1 Die uitsetimpedansie van 'n emittorvolger bufferversterker is:

- a. Oneindig.
- b. Baie hoog.
- c. 0.
- d. Redelik laag

2 In 'n transistorversterker waar die volle basisstroom altyd vloei, is die kring voorgespan vir:

- a. Klas A versterker.
- b. Klas B versterker.
- c. Klas AB versterker.
- d. Klas C versterker.

3 'n Klas C versterker gelei oor:

- a. Die volle siklus.
- b. Driekwart van die siklus.
- c. Presies 'n halwe siklus.
- d. Minder as 'n halwe siklus.

4 Die versterkerklas met die minste hoeveelheid vervorming is:

- a. Klas A.
- b. Klas B.
- c. Klas AB.
- d. Klas C.

5 'n Versterker wat so voorgespan is dat geleiding vir meer as 180° maar minder as 360° van 'n volle siklus plaasvind werk in:

- a. Klas A.
- b. Klas AB.
- c. Klas B.
- d. Klas C.

6 Wanneer 'n RF-versterker voorgespan is om vir geleidingshoek van meer as 360 grade te gelei:

- a. Vloei uitsetstroom net vir 'n gedeelte van die insetsiklusse.

- b. Skakel voorspanningstroom die transistor nooit af nie.
- c. Die gemiddelde roosterspanning is twee maal die afskakelspanning.
- d. RF-krag word teen die grootste doeltreffendheid opgewek.