

Zes varianten van de LF/AF-oscillator (en de capaciteit van meneer Miller)

Burkhard Kainka (Duitsland)

Als we elektronica alleen zouden gebruiken om bestaande signalen te verwerken, zouden we een belangrijk aspect ervan missen: oscillerende signalen genereren – alsof het magie was. Oscillatoren zijn belangrijke onderdelen van veel apparaten en worden voor talloze doeleinden gebruikt. Ze kunnen bijvoorbeeld worden gebruikt om al dan niet hoorbare signalen te genereren voor het testen van schakelingen en modules.

RC-oscillatoren

Iedereen kent het onaangename gefluit en gehuil ('Mexicaanse hond') dat kan voorkomen bij een omroepinstallatie. Het is het resultaat van akoestische terugkoppeling van de luidspreker naar de microfoon. De toonhoogte ervan varieert afhankelijk van de situatie; het effect kan alleen worden voorkomen door de afstand tussen de systeemcomponenten te vergroten of de versterking te reduceren.

In theorie kan elke schakeling of elk systeem met voldoende terugkoppeling oscilleren. Het terugkoppelpad kan puur elektronisch zijn, bijvoorbeeld van een signaaluitgang naar een ingang. Een noodzakelijke voorwaarde is de juiste faserelatie, waaraan bij een tweetraps versterker is voldaan.

De schakeling van **figuur 1** is vergelijkbaar met een multivibrator, maar met instelbare terugkoppeling. Een multivibrator genereert altijd

blokgolven, maar de hier getoonde schakeling kan ook sinussen of andere golfvormen genereren. De terugkoppeling kan worden aangepast met de potmeter tot het punt waar net een zwakke oscillatie begint op te treden. De golfvorm is in deze situatie meestal sinusvormig. Het is ook mogelijk om een oscillerend signaal met een enkele transistor te genereren, ook al is daar sprake van een faseverschuiving van 180°. Door meerdere RC-netwerkjes in serie te schakelen kan de vereiste extra 180 graden faseverschuiving worden bereikt. De in **figuur 2** getoonde faseverschuivingsoscillator genereert een sinus van ongeveer 800 Hz, wat ideaal is om bijvoorbeeld morsecode te oefenen of audioversterkers door te fluiten.

Een werkende faseverschuivingsoscillator kan ook met een FET van het type BS170 worden geconstrueerd. De schakeling van **figuur 3** is met zeer hoge weerstandswaarden ontworpen, en oscilleert bij een frequentie van ongeveer 10 Hz. Daarbij trekt hij een uiterst geringe bedrijfsstroom van ongeveer 30 μA .

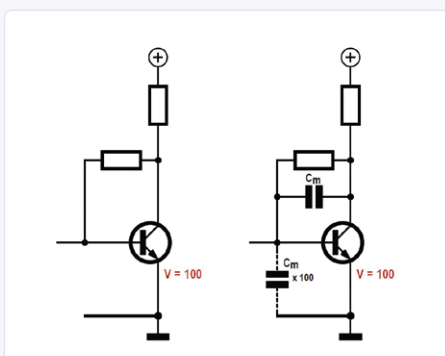
Ringoscillatoren

Tot nu toe hebben we een- of tweetrapsversterkers gebruikt om een oscillator te bouwen. Maarat gebeurt er als je een circuit hebt met drie gemeenschappelijke emitter-trappen? Je zou eigenlijk verwachten dat de terugkoppeling negatief is, aangezien de totale faseverschuiving 180° is. In de praktijk oscilleert de schakeling echter wel (**figuur 4**). De oscillatiefrequentie neemt toe met de voedingsspanning en kan oplopen tot 1 MHz.

Wist u dat? Het Miller-effect

De spanningsversterking van een gemeenschappelijke emitter-versterkertrap bedraagt typisch zo'n 100 maal. Dat geldt tot redelijk hoge frequenties, maar soms niet zo hoog als je zou willen. Hoewel de unity gain-frequentie van een BC547 ongeveer 300 MHz is (de stroomversterking neemt af tot 1 bij 300 MHz), is de bovenste grensfrequentie van deze versterker veel lager, vooral als de schakeling met hoge weerstandswaarden is ontworpen. Schuld zijn de interne junctiecapaciteiten van de transistor.

De basis/collector-capaciteit C_{bc} heeft een bijzonder grote invloed, hoewel die bij een BC547 slechts ongeveer 5 pF bedraagt. Dat komt door het Miller-effect. De Miller-capaciteit C_m (d.w.z. C_{bc}) tussen ingang en uitgang van de inverterende versterker wordt van twee kanten opgeladen en ontladen. Als de basisspanning bijvoorbeeld met 1 mV toeneemt, daalt de collectorspanning tegelijkertijd met 100 mV. Dat betekent dat er 100 maal zoveel lading moet worden geleverd. Het netto-effect is dat er een condensator op de ingang lijkt te zijn aangesloten

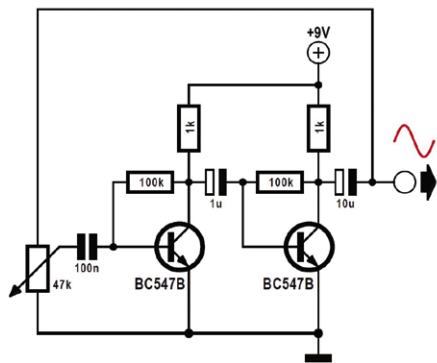


met een waarde die gelijk is aan de Miller-capaciteit vermenigvuldigd met de spanningsversterking; in dit geval spreken we dus over ongeveer 500 pF. De combinatie van deze capaciteit en de interne weerstand van de aangesloten signaalbron vormt een laagdoorlaatfilter dat de bovengrens van de versterkerbandbreedte drastisch verlaagt.

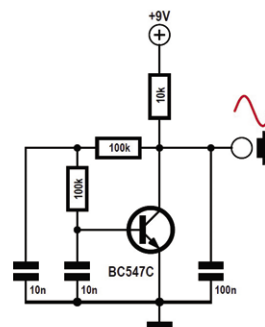
Voor een versterker betekent dit dat als grote bandbreedte belangrijk is,

de weerstandswaarden in de schakeling zo klein mogelijk moeten zijn. Daarnaast kan het in sommige gevallen de moeite waard zijn om met een lagere spanningsversterking te werken, bijvoorbeeld door de uitgangsimpedantie te verlagen. Een andere goede optie is om speciale HF-transistoren te gebruiken met een veel lagere junctiecapaciteit.

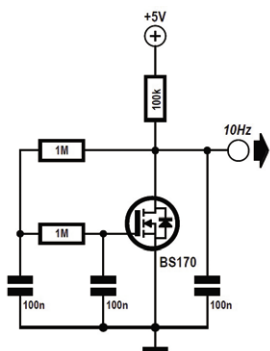
In het geval van oscillatoren stelt de Miller-capaciteit ons in staat om oscillatoren te bouwen zonder frequentiebepalende condensatoren, omdat de transistor zelf voor de vereiste capaciteit zorgt.



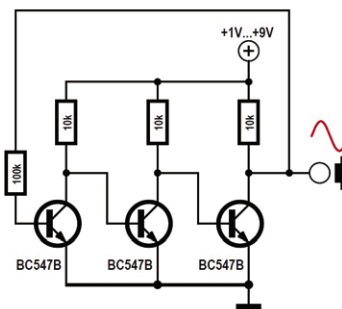
Figuur 1. Oscillatie veroorzaakt door positieve terugkoppeling.



Figuur 2. Een faseverschuivingsoscillator.



Figuur 3. Een faseverschuivingsoscillator met een FET.



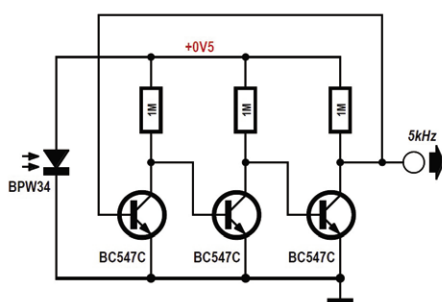
Figuur 4. Een oscillator zonder condensatoren...

Wat gebeurt hier? We hebben in feite een drietraps versterker met negatieve terugkoppeling en een zeer hoge spanningsversterking. Elke versterkertrap veroorzaakt echter naast de versterking ook een kleine vertraging. Bij een zeer specifieke frequentie resulteert de combinatie van deze drie vertragingen in een extra faseverschuiving van 180° . De negatieve terugkoppeling verandert daarom bij deze frequentie in positieve terugkoppeling en het resultaat is oscillatie. Als u een dergelijke schakeling als versterker voor zeer lageingangssignaalniveaus wilt gebruiken en niet als een oscillator, moet u al het mogelijke doen om elke vorm van positieve terugkoppeling te voorkomen. Met zo'n grote versterking is het niet echt eenvoudig om parasitaire oscillaties te voorkomen. Het is gemakkelijker om een drietraps-oscillator te bouwen dan een drietraps-versterker. Hoe lager de gemiddelde collectorstroom, hoe hoger de impedantie van de schakeling – en de interne capaciteiten van de transistoren hebben een groter effect naarmate de impedantie toeneemt. Daarom is de tijdsvertraging groter bij een lagere voedingspanning, wat weer resulteert in een lagere oscillatiefrequentie.

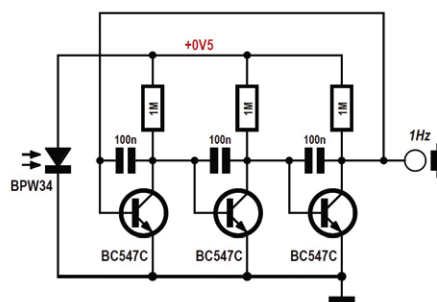
Een dergelijke schakeling bestaat uit een ring van afzonderlijke versterkertrappen en wordt daarom een ringoscillator genoemd. Hetzelfde effect kan ook worden bereikt met vijf, zeven of negen trappen. De enige voorwaarde waaraan moet worden voldaan, is dat er negatieve DC-terugkoppeling is. Bij een even aantal trappen daarentegen zal het resultaat altijd een statische flip-flop zijn.

Een drietraps ringoscillator kan met zeer hoge weerstandswaarden worden geconstrueerd, waardoor het stroomverbruik minimaal is. Met drie $1M\Omega$ -collectorweerstandsen werkt de oscillator met een voedingspanning van slechts 0,5 V en verbruikt minder dan $1\mu A$. Dat betekent dat een BPW34-fotodiode, die in de zon als een miniatuur 'zonnecel' fungeert, voldoende stroom kan leveren om de oscillator te laten werken (figuur 5). De frequentie van het uitgangssignaal is ongeveer 5 kHz. De frequentie stijgt met toenemende lichtsterkte, waardoor de schakeling wellicht bruikbaar is als lichtsensor.

U vraagt zich misschien af hoe deze schakeling bij slechts 5 kHz kan oscilleren, en dat helemaal zonder condensatoren. Dat lijkt vreemd,



Figuur 5. Een ringoscillator die door een 'zonnecel' wordt gevoed.



Figuur 6. Een laagfrequente en zeer zuinige ringoscillator.

aangezien de interne capaciteit van een transistor maar een paar pF bedraagt. Het antwoord op deze vraag is het zogenaamde Miller-effect (zie **kader**), dat ervoor zorgt dat de capaciteit die aan de ingang wordt gezien het product is van de collector/basis-capaciteit en de spanningsversterking. Met die kennis gewapend kunt u eenvoudig

extra condensatoren tussen collector en basis aansluiten om zeer lage frequenties te genereren (**figuur 6**). Met drie condensatoren van 100 nF bedraagt de uitgangsfrequentie ongeveer 1 Hz. ◀

200205-03