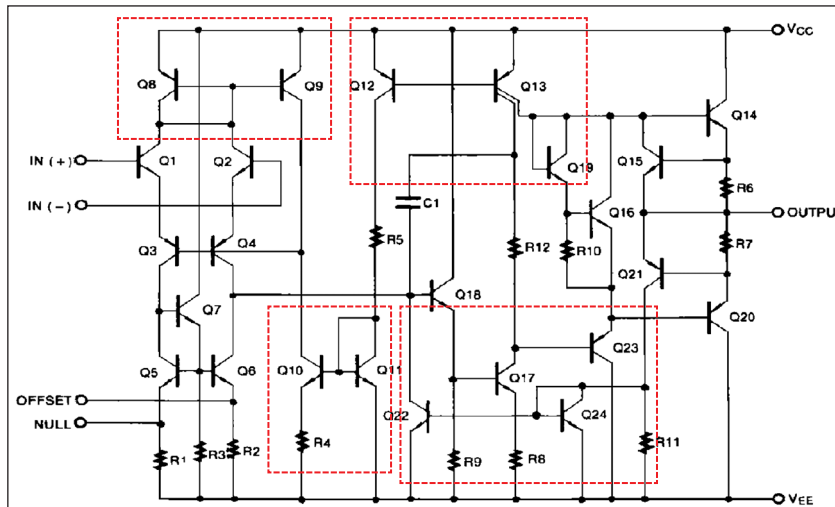
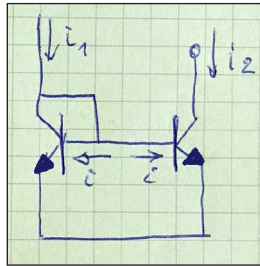
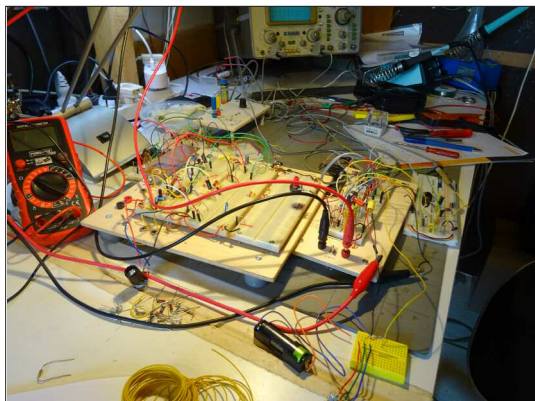


Stroombronnen current sources



i



Stroombronnen komen we overal in de elektronica tegen als belangrijke bouwstenen in schakelingen. Dat kan voor een langzame tijdschakelaars zijn, maar ook voor synthesizers en zelfs voor supersnelle oscillatoren tot in het GigaHertz gebied aan toe, als onderdeel van smartphones. Ze maken inmiddels een onlosmakelijk onderdeel uit van veel analoge geïntegreerde schakelingen.

Current Sources

This article is partly in Dutch partly in English, almost all URL's are directing to articles in the English language.

The PDF is made in april/may 2021, so please bear that in mind, if you encounter an URL that is not responding anymore. Most of the time you can find the chosen article/magazine in another setting, with the same name via one of the several search-engines.

Even within the same search-engine, using different country-domain-names.

That's also true for (old) Application Notes, they are still available as download somewhere on the internet, if you spend some time with different search engines and other search/key words.

Stroombronnen / current sources

59 pagina's

3 MB PDF

STROOMBRONNEN

april-mei 2021.

Een stroombron is een schakeling, die er voor zorgt dat een stroom van constante (of geregelde) sterkte gaat lopen. Dus min of meer onafhankelijk van de aan te sluiten belastingsweerstand en spanning, indien mogelijk ook zo min mogelijk afhankelijk van de temperatuur.

In de meeste gevallen gaan we in de elektronica uit van de spanning, die een stroom veroorzaakt, hier wordt oorzaak en gevolg vaak omgedraaid.

Een bekende stroombron toepassing is voor aansturing van LED lampen, middels LED drivers. De meest bekende (kleine) LED's werken met maximaal 20 mA stroom, maar ook met een lagere stroom leveren ze vaak nog voldoende licht. LED's moeten standaard met een constante stroom worden aangestuurd.

De stroomsterkte is een maat voor de helderheid van het LED licht. Hoe meer stroom, des te meer licht, binnen de specificatiegrens.

Met behulp van een stroombron kan de maximale hoeveelheid toegestane stroom binnen de grens worden gehouden. Iets dat met een spanningsbron, serie weerstand en LED niet altijd mogelijk is door afwijkingen in waarden, LED spanning en bovenal de temperatuur.

Zijn er uitzonderingen? Jawel, zo onderzochten we een rood achterlicht, waar de schakelaar weigerde. Twee AA batterijen zorgden voor de spanning, de aansluitingen liepen naar een printplaatje met plaats voor 2 transistoren en 6 weerstanden. Echter deze waren niet uitgevoerd en alleen een 22 Ohm serie weerstand was uitgevoerd richting LED.

Ook oplaadbare accu's (telefoon, laptop, tablet, draadloze luidsprekers etc.) kunnen vaak het best met een optimale constante stroom worden geladen.

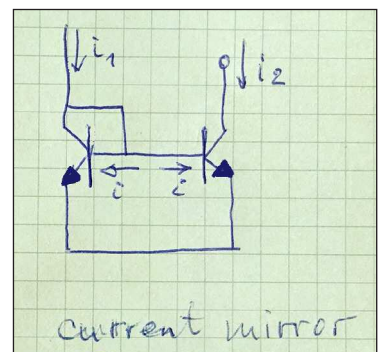
Een stroombron mag niet op een TE kleine belastingsweerstand worden aangesloten (geen kortsluiting veroorzaken).

Stroomspiegel

Voorbeeld van een veel voorkomende schakeling, waarbij de stroom door de eerste transistor vrijwel gelijk is aan die van de tegenoverliggende (gespiegelde) 2de transistor.

In het engels 'current mirror'.

De twee transistoren moeten wat h_{FE} en V_{BE} goed aan elkaar gelijk zijn. Ook de temperatuur van de twee is belangrijk, ze worden dan ook thermisch tegen elkaar aangeplaatst. Of nog beter, de twee komen uit één transistor Array. Zodat ze in bedrijf vrijwel een gelijke temperatuur en andere eigenschappen hebben meegekregen.



DSAGER00120.pdf

Uitvoeringe Duitstalige informatie over Transistor Array's van Mikroelektronik.

B315, 325, 360, 380

<http://datasheet.datasheetarchive.com/originals/scans/Scans-048/DSAGER000120.pdf>

Typenummers van BJT Array's

Het grootste probleem met zoveel typenummers is niet, dat het juiste type moeilijk kan worden gevonden, maar meer dat de verkoopadressen van dit soort onderdelen bij de lokale onderdelen winkel/webshop zeker niet eenvoudig is. Ook moet er goed op het soort package worden gelet en vergeet de achtervoegsels in de typenummervermelding niet.

<https://uk.farnell.com/c/semiconductors-discretes/transistors/bipolar-transistors/bipolar-junction-transistor-arrays-bjt>

CA3096, CA3083 zijn de meest bekende Array typenummers

Ook ULN2003 (7 darlington), UL2004, ULM2001 - ULN2804 (Darlington), ULN2803 met open collector NPN uitgang.

TPQ2222 transistor Array met 4 stuks 2N2222 op één chip.

BFS480, BCR148S etc.

- - - - -

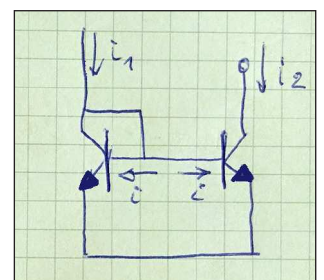
Toepassing van een stroomspiegel is b.v. als vervanging van een weerstand. Bijvoorbeeld in een versterkertrap of differentiaaltrap, waarbij een hoge collectorweerstand een hoge versterking oplevert, hetgeen in een IC-schakeling niet praktisch is.

Een stroomspiegel (current mirror) opgebouwd met 2 of meer (discrete) transistoren is een interessante combinatie van twee basisaansluitingen.

Indien de V_{BE} van beide transistoren gelijk zijn, dan ligt het voor de hand (beide basisaansluitingen zijn met elkaar verbonden) dat ook beide collectorstromen vrijwel identiek aan elkaar zijn, bij gelijke h_{FE} stroomversterkingsfactoren en goede thermische koppeling.

Naarmate de waarde van de h_{FE} hoger is (bij BC . . . transistoren te zien aan het achtervoegsel C) zal de schakeling beter presteren.

De verhouding tussen basisstroom en collectorstroom komt dan hoger te liggen. Merk op dat de stroom i_1 zich splitst in collectorstroom Q1 en 2 x de basisstroom voor beide transistoren.



Animatie stroomspiegel

<http://www.falstad.com/circuit/e-mirror.html>

Animatie current mirror met 2 PNP transistoren en twee schakelaars. De stroom in het linkerdeel (de collector met basis doorverbonden) bepaald ook de stroom in het rechterdeel.

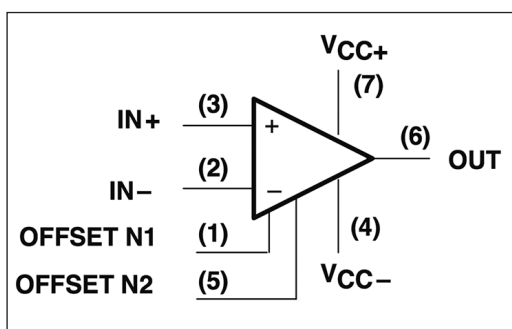
Sluit de linker schakelaar (met de computermuis cursor) en zie dat de stroom rechts zich direct aanpast aan de nieuwe waarde. Met schakelaar open is die 7,2 mA, gesloten 17,8 mA.

De collectorstroom (en basis) loopt met open schakelaar door de 500 Ohm weerstand. Met gesloten schakelaar wordt daar 200 Ohm parallel aan geschakeld: de nieuwe weerstand is dan $200 \times 500 / 200 + 500 = 142,85$ Ohm.

De linkerzijde controleert hoeveel stroom er rechts (gespiegeld) gaat lopen. Min of meer onafhankelijk van de weerstand aan de rechter collector zijde.

De schakelaar aan de rechts levert bij sluiten geen (of nauwelijks) verandering in de stroom, omdat de regeling van links komt.

De linker transistor (Collector + Basis) werkt als een 'diode'. (Meer daarover verderop). De stroom wordt door de weerstanden eronder bepaald. Beide transistoren ontvangen zo een vrijwel gelijk stroom. Met dien verstande dat de basisstroom van de rechter transistor vanuit de linker wordt geleverd. Om de werking te verbeteren wordt een hoge stroomversterkingsfactor aanbevolen.



* uA741 wikipedia

Daniel Braun - redrawn png file (from User:Omegatron), Page 4 of datasheet. Transistor-level schematic for a 741 op-amp, color coded and labeled. Dotted lines outline: current mirrors (red); differential amplifier (blue); class A gain stage (magenta); voltage level shifter (green); output stage (cyan).

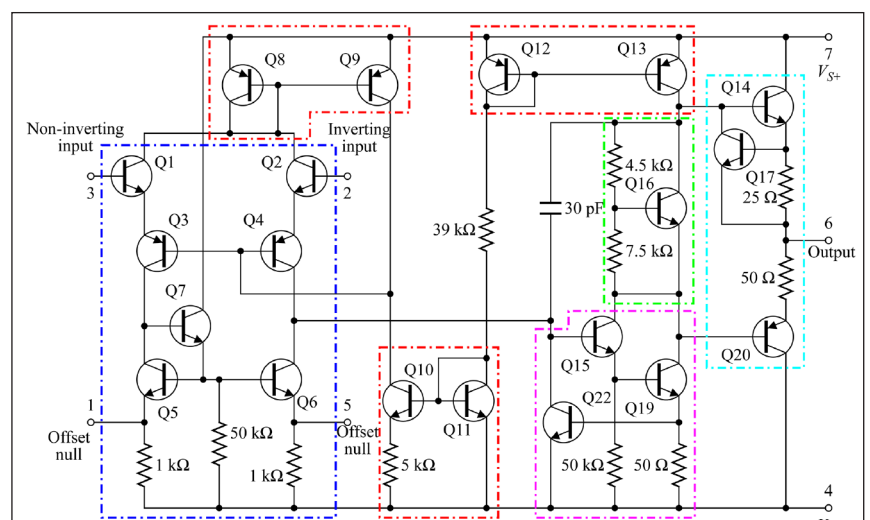
https://en.wikipedia.org/wiki/Operational_amplifier

Operationele versterker 741 (uA741)

Het IC werd voor het eerst in 1976 uitgebracht en bezit een aantal stroombronnen.

Voorbeeld van een operationele versterker uA741 (meest succesvolle opamp ooit) die bij Fairchild Semiconductor door David Fullagar in 1968 werd ontworpen, nadat Bob Widlar zijn LM301 had ontwikkeld (tevens uA702 en uA709).

September 2016 werd Fairchild door ON Semiconductor overgenomen.



In 1966 brengt Fairchild marketing deze memo uit: **“We’ve got a winner” (uA741).**

Interview David Fullager, juni 2018

<https://exhibits.stanford.edu/silicongenesis/catalog/gr517bk2144>

De rode stippellijnen in het schema geven de current mirror's aan.

De differentiale versterkers zijn in het blauw, de klasse A-trap in magenta en de spannings niveau-trap in groen, de uitgangsstrap in cyaan kleur weergegeven.

Bij de stroomspiegel is bij één van de 2 transistoren de collector met de basis verbonden. Boven-aan zien we de PNP transistoren, die met de emitters met de + voedingsrail zijn verbonden. De 'diode functie' dient als bias (sturing) voor de andere transistor.

De emitter-basis spanning van de linker transistor zorgt voor de instelling van de collectorstroom. Daarmee wordt tevens de emitter-basis spanning van de tweede (spiegelende) transistor bepaald, tot dezelfde waarde.

In wezen zijn op één chip de transistoren gelijk aan elkaar, waardoor de tweede transistor dezelfde stroom zal voeren als de eerste, zelfs min of meer onafhankelijk van de rest van de aangekoppelde schakeling.

De onderste stroombron in de 741 is iets afwijkend. De 5 kOhm weerstand in serie met de emitter begrensd de collectorstroom tot virtueel weinig. Daarmee dient het als een hoge impedantie naar de negatieve voedingsrail. Zo wordt een referentie verkregen zonder dat de ingangsschakeling wordt belast.

Referenties:

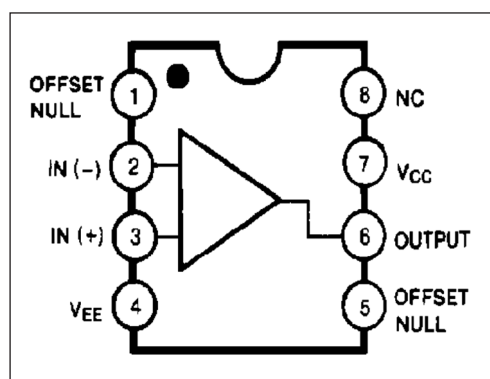
Current Mirror

https://en.wikipedia.org/wiki/Current_mirror

<http://www.righto.com/2015/10/inside-ubiquitous-741-op-amp-circuits.html>

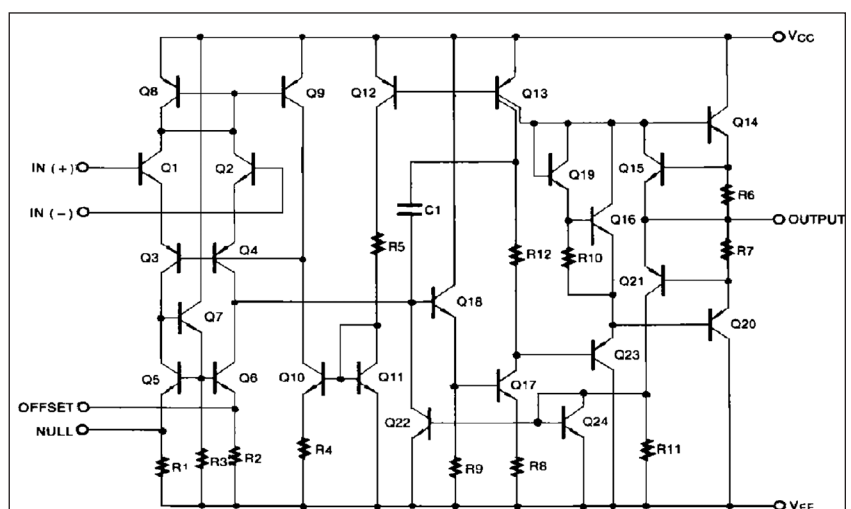
<https://wiki.analog.com/university/courses/electronics/text/chapter-11>

<http://www.righto.com/2015/10/inside-ubiquitous-741-op-amp-circuits.html>



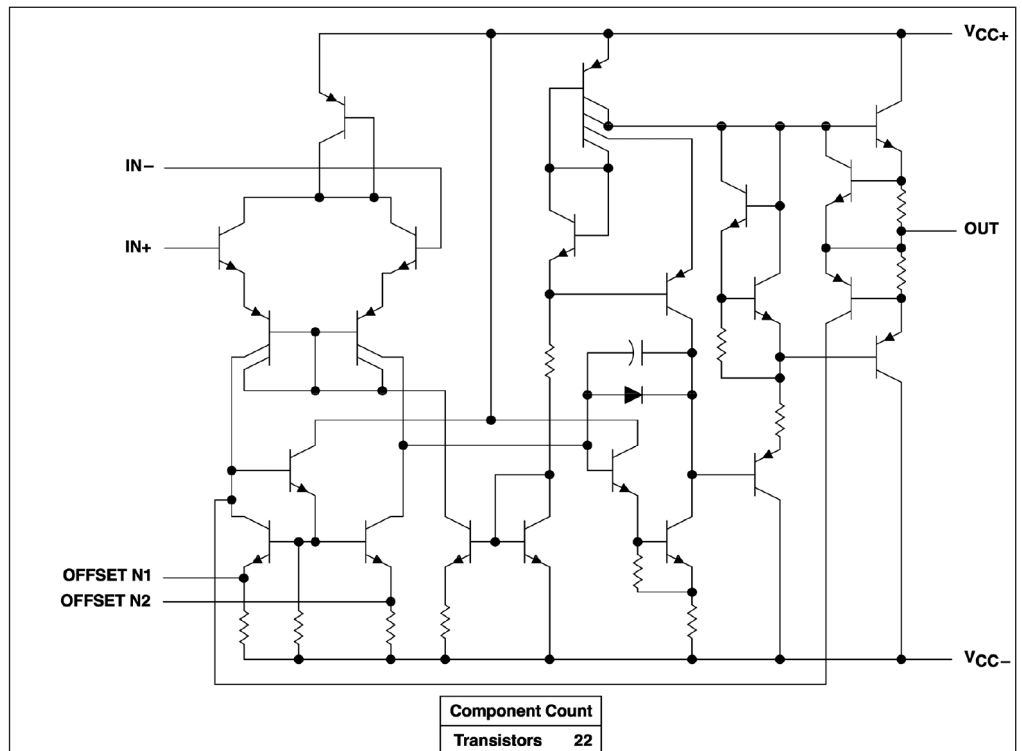
Tekeningen van Fairchild datasheet uA741.

Het doortrekken van de basisaansluiting 'door' het transistor symbool heen, maakt de werking duidelijker.



Een andere manier van tekenen (Texas Instruments), maakt het mogelijk om snel de werking van het 741 IC te kunnen 'lezen'.

De cirkels rond de transistoren blijken in complexe ontwerpen af te leiden. Merk op dat er wel degelijk ook enkele verschillen zijn op te merken in het IC schema zelf, ten opzichte van de eerste tekening. Er zijn in de loop van de jaren kleine verbeteringen doorgevoerd en verschil-



lende fabrikanten hanteerden onder dezelfde type 741-naam toch iets afwijkende onderliggende schema's (20 en 24 transistor varianten).

Een transistor met meerdere collectoren, helpt bij het matching proces.

Source en Sink

Beide soorten schakelingen dienen om de stroom te stabiliseren. Bij de source schakeling loopt de stroom van de uitgang van de schakeling naar de belasting. (In het engels 'current source'). Bij een Sink wordt de stroom als het ware door de schakeling weggezogen, als een soort stroomstofzuiger. ('current sink').

Bekender is de spanningsbron, waarbij de schakeling er voor zorgt dat de spanning aan de uitgangsklemmen zo veel mogelijk constant blijft met wisselende belastingen. Zo'n (meestal regelbare) spanningsbron kan ook als een stroombegrenzer worden toegepast.

In wezen is een 'stroombron' **eenvoudig zelf te maken** door een relatief hoge gelijkspanning aan te sluiten op een hoge weerstandswaarde. Hoe hoger de spanning en de weerstand, des te beter de 'onafhankelijke' stroombron.

Stel $U = 60 \text{ V}$ gelijkspanning en $R \text{ serie} = 10 \text{ k}\Omega$.

De stroom die gaat lopen is $60 / 10 \text{ k} = 6 \text{ mA}$.

Indien de belastingsweerstand (in serie met R_s) $> 1/10$ van R_s bv. 820Ω , dan zal er nog steeds een stroom gaan lopen, die dicht bij die van 6 mA aanligt.

Of te wel $U = 60 \text{ V}$, $R_{\text{tot}} = R_s + R_L = 10 \text{ k} + 820 = 10,820 \text{ k}\Omega$

De stroom door de belastingsweerstand is $60 / 10,820 \text{ k} = 5,545 \text{ mA}$.

Verschil ZONDER belasting en MET belasting bedraagt 6 mA ten opzichte van $5,545 \text{ mA}$.

Stroombronnen komen we in allerlei soorten schakelingen tegen, ze worden vaak gebruikt om bij

een geïntegreerde schakeling een hoge belastingsweerstand (versterking) te verwezenlijken, zonder dat er een fysieke weerstand aan te pas komt.

FET's zijn bekende actieve componenten bij een stroombron, maar ook BJT transistoren worden veelvuldig als discrete onderdelen toegepast en SI-transistoren als onderdeel van een geïntegreerde schakeling.

Eén van de meest bekende en succesvolle spanningsstabilisatoren IC's is de LM317, die met een minimum aan onderdelen ook geschikt kan worden gemaakt om als constante stroom leverancier te werken.

De mate waarin een stroombron zijn werk doet wordt in uitgangsimpedantie waarde uitgedrukt. Een hogere impedantie komt overeen met een constantere (beter werkende) stroombron. Te vergelijken met het eerste voorbeeld met de weerstand.

In plaats van 60 Volt kiezen we nu een lagere gelijkspanning b.v. 5 Volt met de bedoeling om 5 mA te laten lopen.

De serieweerstand wordt dan $R = U / I = 5 / 5 \text{ mA} = 1 \text{ kOhm}$.

Stel de aan te sluiten belastingweerstand (Load) op 500 Ohm, dan zal de totale weerstand (serie) nu 1,5 kOhm bedragen. Met gelijk blijvende 5 Volt voedingsspanning bedraagt de stroom dan $5 / 1,5 = 3,33 \text{ mA}$.

De gewenste stroomwaarde wijkt nu veel meer af, dan uit het eerste voorbeeld. Met of zonder belasting van 5 mA naar 3,3 mA.

Een ideale (theoretische) stroombron bezit een oneindige weerstand, waardoor het in wezen niet uitmaakt (behalve dan met kortsluiting) welke belastingsweerstand (Load) er op wordt aangesloten. De stroom die er gaat vloeien blijft gelijk aan de ingestelde waarde. In de praktijk heeft een stroombron een beperkte interne weerstand, waardoor de stroom die moet worden geleverd aan de belastingsweerstand niet constant is, afhankelijk van de gekozen waarden.

Animatie van NPN transistor schakeling waarbij een 1,4 mA constante stroom wordt geleverd, onafhankelijk van de stand van de schakelaar. De basisspanning is door de weerstanddeler op 1,98 V ingesteld, hetgeen een stroom door de basis van 14 uA opleverd. De collectorstroom zal 100 x van 14 uA zijn = 1,4 mA. Bij een stroomversterkeringsfactor van 100.

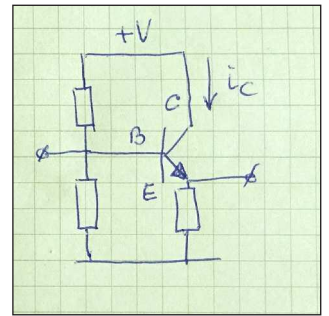
Met de klik van de muis kunt u zelf de schakelaar open of dicht zetten en zien dat de stroom gelijk blijft.

<http://www.falstad.com/circuit/e-currentsrc.html>

De 'stroombron' bestaat uit een gemeenschappelijke emitter transistor schakeling. (Common emitter). Waarin de stroom door de collector een functie is van de basis emitter stroom.

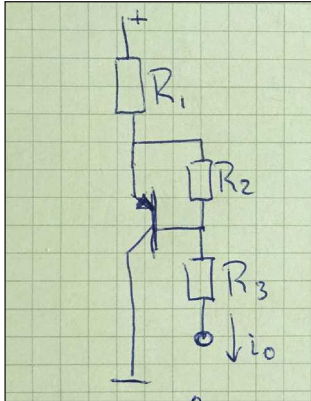
$I_c = \beta \times I_B$. Beta is de stroomversterkingsfactor.

De bekende emittervolger.



A.

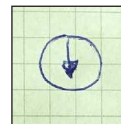
Eenvoudige stroombron.



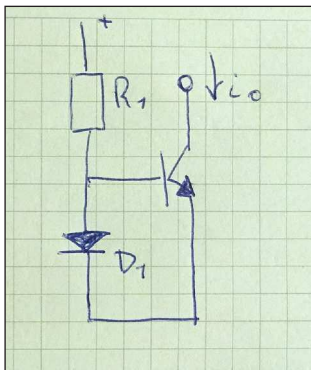
R_1 vormt de emitterweerstand van de PNP emittervolger, V_{BE} regelt de stroom door R_2 . Indien de stroom door R_2 (basisstroom) meer is dan de standaard basisstroom, dan kan die stroom (V_b / R_2) worden verwaarloosd in de stroom, die door R_3 loopt, de eigenlijke belasting.

Uiteraard is ook een NPN uitvoering mogelijk.

Het symbool voor een stroombron bestaat uit een cirkel met daarin een pijl, die de stroomrichting aangeeft.



B.



Ook deze stroombron schakeling komen we vaak tegen. Deingangsspanning V_{in} veroorzaakt een stroom door R_1 door de diode. Door deze stroom komt er een spanning over de diode te staan.

Dezelfde spanning staat daarmee ook op de basis-emitter van de NPN transistor.

Indien deze voldoende hoog is zal er een stroom door de transistor gaan lopen.

De spanning over de diode is afhankelijk van de voedingsspanning, de R_1 waarde, de basisstroom (die er van af gaat) en de spec's van de diode.

Vandaar dat de verhouding tussen deingangsspanning en de uitgangsstroom hier niet simpel is te berekenen. Maar met het gebruik van standaard (bijna identieke) diodes en transistoren is het mogelijk om in de buurt te komen. De basis-emitter overgang van de transistor werkt ook als 'gewone' diode.

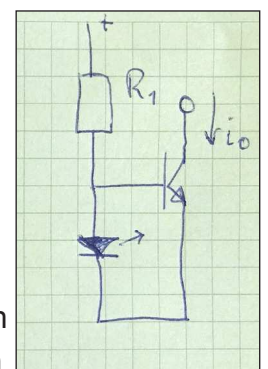
C.

Toepassing met een LED in plaats van diode uit voorbeeld B.

$$i_o = \frac{V_{LED} - V_{BE}}{R_2}$$

Een LED heeft bijna altijd een hogere spanning (U_D) bij een bepaalde stroom, dan een 'normale' diode, een en ander afhankelijk van het type en uiteraard de kleur van de LED.

Indien we een gemiddelde LED spanning van 2 Volt aanhouden en een V_{BE} van 0,6 Volt, dan is het mogelijk om de stroom te berekenen. Indien we V_{BE} als min



of meer constant bestempelen (0,6 - 0,7 Volt) dan zal de stroom afhankelijk zijn van het soort LED en de gekozen weerstandswaarde R2.

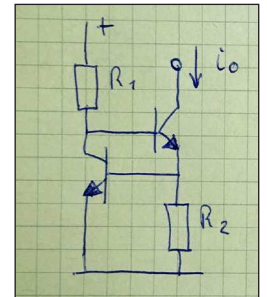
Alhoewel de waarden kunnen afwijken is een redelijke temperatuur compensatie mogelijk, waarbij de V_{BE} waarden bij diverse temperaturen kunnen worden gecompenseerd door de LED.

D.

$$i_0 = V_{BE} / R_2$$

Hier zien we een combinatie van twee NPN transistoren, die met elkaar zijn gekoppeld. Deingangsspanning V_{in} veroorzaakt een stroom door R1, waarvan een deel als basisstroom van Tr.2 zal lopen. Daarmee gaat er een collectorstroom I_{C2} lopen, die via R2 naar massa gaat.

Indien de stroom toeneemt zal Tr. 2 geheel open gaan en de emitterspanning neemt toe.



Daarmee ook de V_{BE} van Tr. 1. Het gevolg is een collectorstroom door Tr. 1. En hier zien we de werking van de tegenkoppeling, omdat er collectorstroom door Tr. 1 loopt, neemt de spanning onder R1 af, waardoor de eerdere voorwaarde van geleiding door basisstroom door Tr.2 komt te vervallen (wordt tegengewerkt). Deze schakeling is echter niet fullproof, hou er met experimenteren rekening mee dat u over voldoende nieuwe transistoren beschikt. Het is dan ook gebruikelijk om in de basisleiding van Tr.1 een kleine weerstand op te nemen, om te voorkomen dat er toch te veel stroom door de transistoren zal gaan lopen. De berekening is eenvoudig waarbij de V_{BE} van de (gelijke) transistoren (meestal aangenomen als 0,7 Volt) eenvoudig door R2 wordt gedeeld.

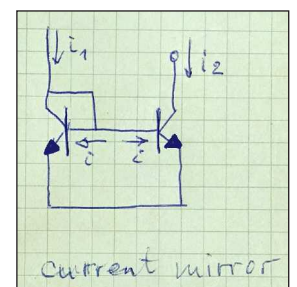
De eerste transistor zal weinig opwarmen ten opzichte van de tweede, vandaar dat de R_{ref} waarde redelijk constant op ca. 0,6 V zal blijven, of te wel een diodespanning boven massa. Onafhankelijk van de V_{BE} over Tr. 2 bij het opwarmen.

E.

Het begint al op een 'echte' stroombron te lijken, zoals we deze veel zien in discrete schakelingen, maar vooral bij geïntegreerde analoge schakelingen.

Het lijkt enigszins op B, maar bij E gaan we uit van een stroom i_1 door de eerste transistor, die met basis en collector gekoppeld is, waardoor er een soort 'diode functie' ontstaat.

Later zullen we zien dat de werking anders kan worden verklaard.



De stroom i_1 kan worden verkregen door een standaard spanningsbron, die via een geschikte weerstand de stroom levert. Het bijzondere in dit schema is dat de twee basissen van de transistoren met elkaar verbonden zijn, waarbij Tr. 2 de 'mirror' of te wel de spiegel is van Tr. 1. De stroom i_1 is daardoor gelijk aan i_2 . Met als voorwaarde dat de transistoren vrijwel gelijk aan elkaar zijn met gelijke V_{BE} en Beta waarden bezitten.

Bij bv. de BCxxx transistoren zien we de achtervoegsels A, B en C. De C uitvoeringen bezitten de hoogste stroomversterkingsfactor (450 - 900). C-uitvoeringen zijn hier op zijn plaats.

De basisstroom als instelling van de transistor levert een kleine fout op.

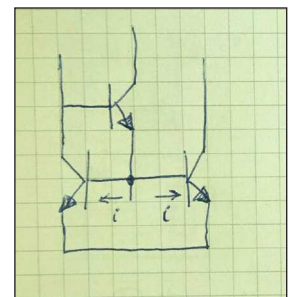
Indien de V_{CE} spanning over Tr. 2 te hoog is, dan zal deze te veel warmte dissiperen. Veel meer energie verbruiken dan Tr. 1, waardoor de gegevens van deze twee transistoren uit elkaar gaan lopen en de stroombron niet meer aan de rekenmethode zal voldoen.

Het schema is ook te gebruiken met kleine emitterweerstand in beide transistoren. De spiegelverhouding zal van de verhouding van deze weerstanden afhankelijk zijn.

Dat geldt in wezen voor een aantal stroombronnen: indien één van de (uitgangs) transistoren een hoger vermogen moet leveren, dan zullen bv. de temperaturen uiteen lopen en daarmee de meetwaarden van de toegepaste (andere) transistoren. De balans tussen de stuur- en uitgangstransistor(en) is dan verstoord.

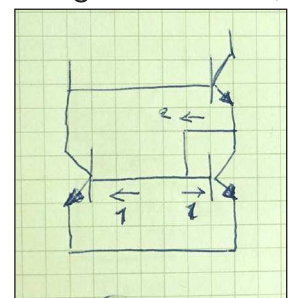
F.

Een uitgebreide versie van E, waarbij de 'diodefunctie' van Tr. 1 (uit E.) vervangen is door een extra transistor. De basisinstellingsstroom van de twee transistoren uit E. wordt hiermee verminderd. De stroombron werkt duidelijk beter, dan schema E.



G.

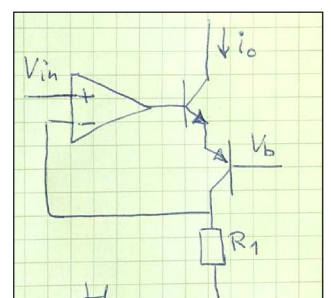
Ook in deze minder gebruikelijke schakeling, wordt de basis (instel) stroomfout verminderd, waarbij de rechts onder geplaatste transistor nu als 'diodefunctie' is geschakeld. De bovenste transistor (rechts boven) zal nu de meeste energie verbruiken, maar deze maakt hier geen deel uit van de spiegel tussen de onderste twee transistoren, die met de basis aan elkaar zitten.



H.

Stroombronnen kunnen in combinatie met een opamp worden gebouwd. Hier zien we een spannings- stroom converter met het gebruik van een IC. De uitgangsstroom i_0 loopt door de NPN en PNP transistor door weerstand R1.

Het is mogelijk om daarvoor in de plaats een FET te gebruiken of enkel een PNP transistor met een lichte verschuiving. Indien er een goed gestabiliseerde V_b beschikbaar is, dan zal de stroom prima te regelen zijn met de ingangsspanning V_{in} aan de + ingang van de opamp.



De min ingang zorgt als tegenkoppeling, waarbij de spanningsval over R1 bepalend is voor de mate van terugregeling.

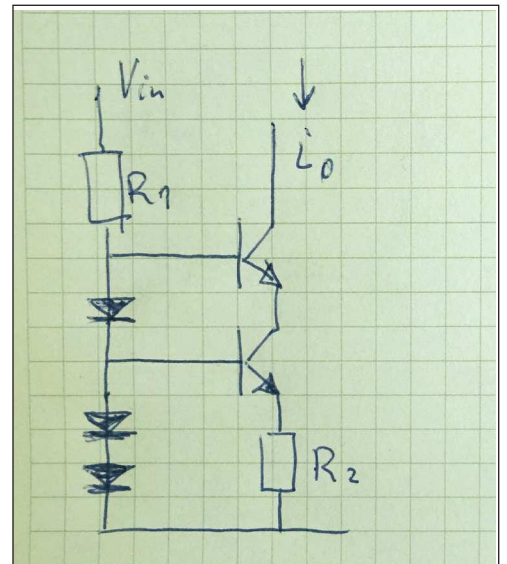
I.

Al eerder zagen we in de B, C, D, E en F uitvoeringen, waarbij de energieopname van één van de transistoren een onbalans veroorzaakt in de stroomspiegel.

Deze werd in G. opgelost in de 3 transistoren configuratie.

Ook in deze I. schakeling is een oplossing gevonden, nu door de serieschakeling van 2 transistoren, waarbij de stroom door de onderste transistor wordt bepaald. Met weinig spanningsval. De bovenste transistor heeft een hogere spanning, maar het opwarmen van deze heeft geen effect op de stroom.

De onderste met R2 bepaald de stroom.



'Diode functie' wetenswaardigheden:

Bij Si-diodes zal bij een spanningsverhoging van 60 mV, de stroom met een factor van ongeveer 10 x toenemen. Of bij vermindering met dezelfde factor afnemen.

De V_{BE} waarden zijn zoals bekend afhankelijk van de temperatuur van de transistor.

Met bv. een diode en zener in de basisopstelling van B en C is het mogelijk de temperatuursinvloeden enigszins te compenseren.

U kunt de diodes (en transistor geschakelde diodes) makkelijk zelf nameten.

Zorg voor een constante stroom van 100 μ A (b.v. met een rel. hoge spanning en een weerstand) en meet de U_d op. Verhoog de spanning, of verlaag de serieweerstand) tot er een stroom van 1000 μ A gaat lopen en meet U_d opnieuw. Daarbij krijgt u ongeveer dezelfde 60 mV waarde weer terug op de meters.

Hou rekening met de temperatuursafhankelijkheid van alle diodes en diode functies. Het zijn wat dat betreft thermometers. Elke verhoging van de temperatuur met een graad Kelvin is terug te vinden in een vermindering van U_d met ca. 2 mV.

Met behulp van negatieve tegenkoppeling en met gebruikmaking van meerdere transistoren, zoals bv. in de **Widlar**- en de **Wilson** current source kan de invloed van de temperatuur aardig worden beteugeld.

WIKIBOOKS

EEN NIEUW INZICHT OVER DE WERKING, vrije bewerking

Onderzoek naar de geheimen van de 'Current Mirror'

'Revealing the secret of current mirror'

Circuit Idea/How to Reverse Current Direction

https://en.wikibooks.org/wiki/Circuit_Idea/How_to_Reverse_Current_Direction

Hoe kan het, dat de veel gebruikte uitleg over de werking van de stroombron transistor, eigenlijk onjuist is?

**Indien de Collector en Basis met elkaar zijn doorverbonden levert het
GEEN DIODE (functie) op !**

De transistor staat in z'n actieve instelling. Het zou wèl een diode (functie) kunnen zijn, indien de Collector juist NIET was doorverbonden!

Dan zou de stroom $I_{REF} = V_{CC} / R$ (R staat niet in het schema) door de Basis-Emitter junctie van een 'echte' diode gaan lopen.

Maar het uitgangsgedeelte Collector-Emitter van de transistor staat juist parallel aan de 'diode'. Op deze manier dient het als een soort shunt en een gelijkrichtend element, dat een groot deel van de $(B / (1 + B))$ van de stroom verdeeld.

Wat doet transistor Q1 in deze schakeling?

AFBEELDING AUTEUR:

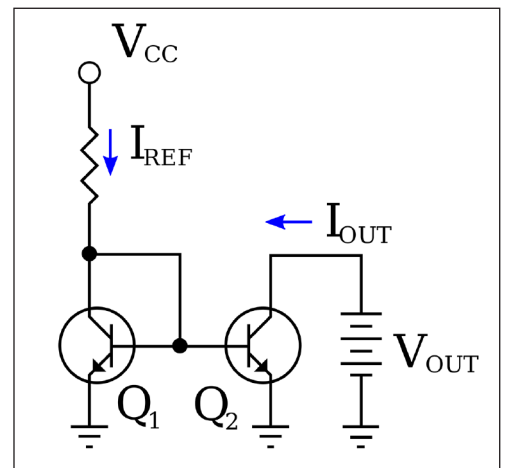
By Cyril Mechkov -- Circuit-fantasia - circuit-fantasia.com, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3572578>

Zoals iedereen weet is de Basis-Emitter spanning V_{BE} het ingangsgedeelte van elke bipolaire transistor en de Collector stroom $I_c = I_{REF}$ het uitgangsgedeelte.

Maar hier is het juist het tegenovergestelde te zien!

De collector- referentie stroom is de ingang en de basis-emitter spanning vertegenwoordigd de uitgang naar Q2.



Vragen, die niet direct kunnen worden beantwoord . . .

- Wat doet transistor Q1 nu eigenlijk in deze schakeling?
- Wat is het verschil tussen transistor en diode?
- Kunnen we deze door een 'normale' diode vervangen of een basis-emitter junctie (met open collector), zoals in een ander verhaal te lezen is? [2]
- Waarom en hoe werkt de collector stroom I_{REF} als ingang en de basis-emitter spanning als een uitgang?
- Wat doet transistor Q2? Wat is zijn functie?
- Hoe veranderen de collectorspanningen, als we de ingangsstroom I_{REF} wijzigen?

Deingangsspanning V_{REF} , de 'programmeer' weerstand R_{REF} en de belastingsweerstand R_L ?

Er blijkt geen bevredigend en sluitend antwoord op al deze vragen!

Idee achter deze schakeling

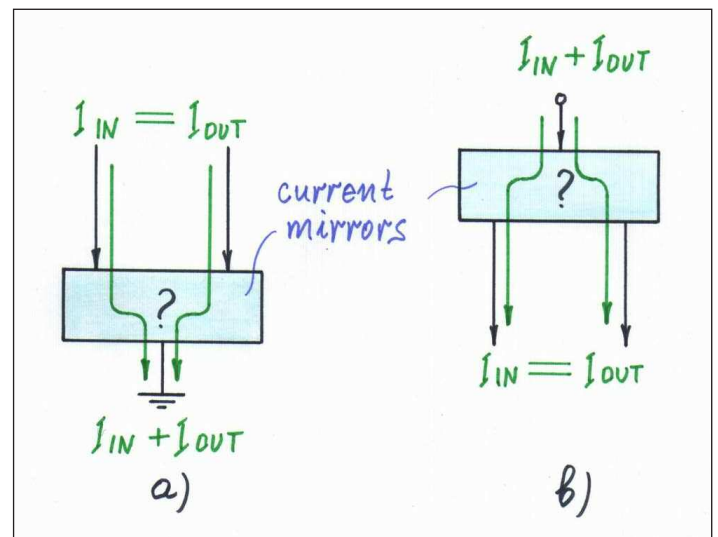
In wezen kon de auteur van dit artikel niet naar andere bronnen verwijzen, het is zijn idee, uitge-

werkt met fraaie en niet altijd even duidelijke tekeningen.

In de NOR [3] schakeling is er wel een antwoord bij diverse bronvermeldingen.

Current direction inverter

Fig. 2 Current Mirror is een 3-pin schakeling. In de blauwe rechthoek de 'current mirror' schakeling.



In een opamp schakeling moeten we soms de richting van de stroom wijzigen, om van een instroom een uitstromende te maken. B.v. bij een integrator die als generator is geschakeld, waarbij deze condensatorstroom krijgt (laden) en stroom moet afstaan (ontladen) tijdens de oscillatie cyclus. Het liefst met een stroomsterkte heen en terug, die hetzelfde blijft voor een fraaie symmetrische driehoeksspanning.

Op deze manier zal de uitgangsstroom de ingang 'kopiëren', maar deze kopie is geïnverteerd als een 'mirror'.

De ingangsstroom 'programmeert' als het ware min- of meer de uitgang en de hele schakeling werkt als een ingestelbare stroombron.

Om dat mogelijk te maken is het duidelijk dat de stroomrichting door de inverter moet kunnen lopen, daarvoor is op zijn minst een 3-pins aansluiting nodig.

De 2 naar binnen lopende stromen moeten naar 'buiten' kunnen lopen. Zie bovenstaande tekening.

De twee stromen moeten ergens naar toe (Fig. 2 b). De ene aansluiting dient daarbij als ingang, de andere - als uitgang en de derde - als een algemene aansluiting (meestal verbonden met de positieve- of negatieve voedingsspanning en soms zelfs naar massa).

Hoe maken we een Current Mirror?

De basis

Bij stroombronnen kennen we 2 hoofdsoorten: Current Source en Current Sink.

Bij de Source wordt de stroom ergens 'ingestopt of gedrukt', terwijl bij de 'sink' de stroom als het ware wordt 'geabsorbeerd' om 'af te voeren' meestal naar massa of lage voedingsspanning.

Voor een Current Mirror hebben we beide functies nodig!

Standaard zijn deze schakelingen spannings gestuurd. Om ze nu met stroom te gebruiken, moeten we een soort "stroom-naar-spanning converter" toevoegen.

Zie het blokdiagram van 2 mogelijke stroombronnen.

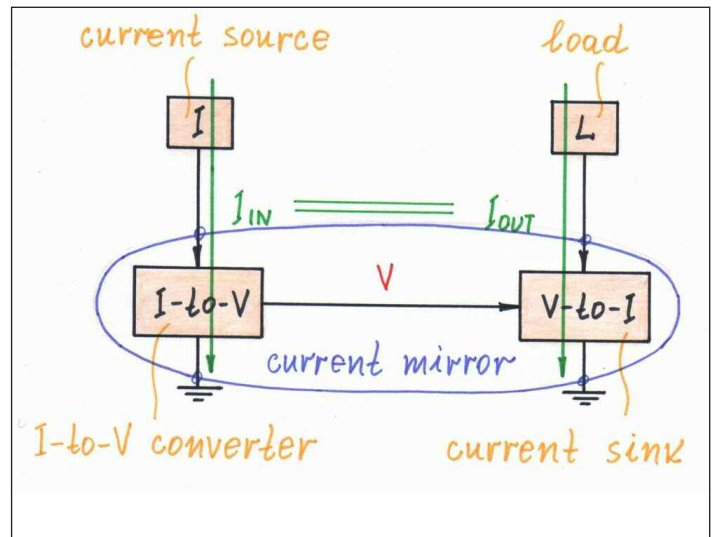
Een stroomspiegel die de uitgangsstroom laat afvloeien (sinking).

Als we een stroombron hebben wordt de ingangsstroom (naar binnen lopend) omgezet naar een spanning en vervolgens gebruiken we deze spanning weer om de Current Sink te regelen.

Het resultaat is de Current Sink (Fig. 3a links) schakeling.

Daarentegen als we een Current Sink hebben,

zetten we de ingangsstroom (naar buiten lopend) om in een spanning en gebruiken vervolgens deze spanning weer om de uiteindelijke actieve stroombron te regelen. Daarmee hebben we een stroombron (Fig. 3b rechts) gemaakt.



De Current Mirror bestaat dus uit twee met elkaar verbonden Stroom-naar-spanning en Spanning-naar-stroom converters.

Het is interessant dat de 2 converters wellicht lineair kunnen zijn (daarbij is $I_{OUT} = V / R = I_{IN} \cdot R / R = I_{IN}$, maar dat is niet noodzakelijk.

Ze kunnen wellicht NIET-lineaire eigenschappen hebben met een IV- of transfer karakteristiek, die nog wel van een andere eenheid (de temperatuur bv.) afhankelijk is.

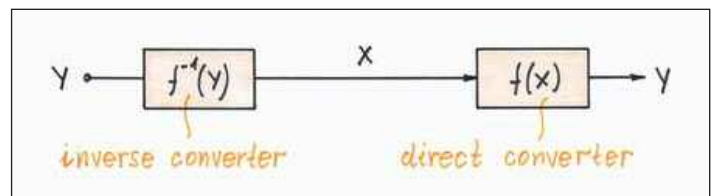
De enige noodzaak is dat hun 'karakter' wordt omgedraaid.

Als bv. in de ene converter een functie $y = f(x)$ bestaat, dan dient de andere een tegengestelde functie te hebben van $x = f^{-1}(y)$.

Waarbij de hele functie $y = f(x) = f(f^{-1}(y))$

De twee converters kunnen op allerlei manieren met elkaar worden gekoppeld, inclusief vlak achter de geïnverteerde (fig. 4).

Fig. 4 De Current Mirror bestaat uit 2 tegengesteld aangesloten converters.



Op het eerste gezicht zal het resultaat vreemd overkomen. Maar het hoofdprobleem en de vraag, het wijzigen van de stroomrichting, daar wordt nu aan voldaan.

De Current Mirror (stroomspiegel) bestaat uit 2 achterelkaar verbonden converters met omgekeerde karakteristieken.

Meestal zijn het geen directe- of omgekeerde converters en hebben we met één soort converter te maken.

Als dit een omkeerbare converter is, kunnen we deze gebruiken als directe converter en vervol-

gens een andere gelijke converter in tegengestelde richting aansluiten, om daarmee een omgekeerde uitvoering te krijgen.

Omkeren via negatieve tegenkoppeling

Het is een probleem als de converter niet omkeerbaar is, of te wel een kaal eenrichtingsapparaat!

In dat geval kunnen we de in- en uitgangspoorten van de schakeling niet verwisselen; we kunnen geen ingangs-eenheid toepassen op de uitgang (helaas is dat hier het geval . . . !).

Dan is de enige oplossing om de schakeling "om te keren" door negatieve tegenkoppeling toe te passen.

Alleen systemen met een NEGATIEVE tegenkoppeling hebben de unieke eigenschap om de oorzaak-gevolg relaties tussen de in- en uitgangs grootheden van de objecten om te kunnen keren.

Ze passen hun interne ingangs-hoeveelheid aan, zodat de interne uitgangswaarde gelijk wordt aan de "echte" externe ingangswaarde.

Eigenlijk dient de interne ingangswaarde als een externe uitgangswaarde.

Op deze manier zijn de objecten "om te keren". Het is een elegante manier om toch het gewenste resultaat te krijgen.

Uitvoering van elektronische BJT schakeling (Bipolaire Junctie Transistor)

Als het algemene principe duidelijk is, kunnen we net zoveel stroomspiegel-schakelingen maken als we willen.

In al deze versies zullen alleen de actieve elektronische componenten verschillen (BJT, FET, op-amps, etc.); het algemene idee erachter blijft hetzelfde.

We beginnen met de meest populaire uitvoering:

De standaard BJT-spiegel uitvoering.

Het UITGANGSDEEL

We kunnen een bipolaire transistor met spanning of stroom aansturen.

Als we de basis-emitterspanning als ingang aanwijzen en de collectorstroom als uitgang gebruiken (figuur 5), kunnen we de BJ-transistor zien als een niet-lineaire spanning-naar-stroom converter met exponentiële karakteristiek.

Deze is zondermeer als uitvoer-deel van onze eenvoudige BJT-stroomspiegel te gebruiken.

Het uitgangsgedeelte van de BJT-stroomspiegel bestaat uit slechts één bipolaire transistor, die als exponentiële spanning-stroomomvormer werkt.

Fig. 5

Implementatie van het uitvoerdeel van een BJT-stroomspiegel

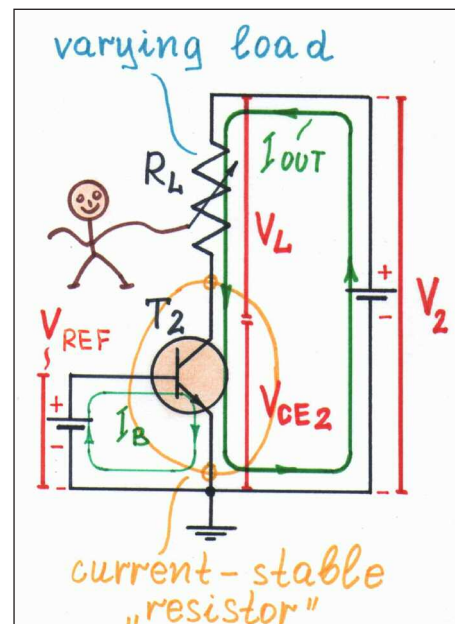


Fig. 6

Overelkaar geplaatste IV-curven van het uitvoerdeel

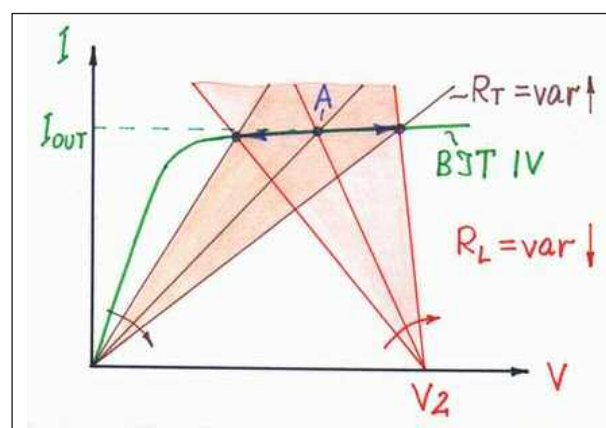
Hoe gedraagt transistor T2 zich ?

We voeren een experiment uit.

Stel een constanteingangsspanning $V_{REF} = 0,5 \div 0,7$ V in en varieer vervolgens de belastingsweerstand R_L (met hetzelfde succes kunt u de voedingsspanning V_2 of de weerstand R_L en de spanning V_2 wijzigen).

Het resultaat blijkt verrassend:

de transistor verandert zijn bestaande weerstand R_{T2} tussen Collector en Emitter, zodat de totale weerstand $R_{tot} = R_L + R_{T2} = \text{constant}$, zie fig. 6.



Hierdoor blijft ook de uitgangsstroom constant $I_{OUT} = V_2 / R_{tot}$.

Op deze manier fungeert het uitgangscollector-emitterdeel van de transistor T2 als een stroomstabile niet-lineaire weerstand. Er wordt over T2 gesproken, die als eenvoudige stroomafvoer werkt.

Het invoerdeel

Nu moeten we de BJ-transistor als een tegengestelde stroom-naar-spanning-omzetter ontwerpen.

De bestaande schakeling kan niet rechtstreeks worden omgekeerd, aangezien de transistor een eenrichtingsapparaat is, waarvan de basis-emitterovergang de collectorstroom regelt; het tegenovergestelde is gewoon onmogelijk.

Hoe lossen we dit op?

We kennen de remedie inmiddels het toepassen van "negatieve feedback".

In ons geval betekent dat de transistor zijn basis-emitterspanning " V_{OUT} " moet aanpassen, zodat de collectorstroom $I_{IN} = V_1 / R$ is.

Voor dit doel verbinden we de Collector met de Basis om een "100% parallele tegenkoppeling" te krijgen, zie fig. 7.

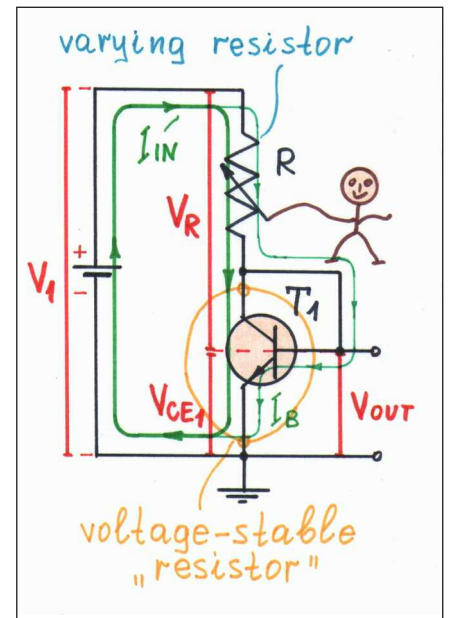
Het resultaat is, hoewel het vreemd lijkt, dat in deze "omgekeerde" transistor de collectorstroom als een ingangsgrootheid dient, terwijl de basis-emitterspanning als uitgangsgrootheid dienst doet!

Het ingangsgedeelte van de eenvoudige BJT-stroomspiegel is slechts een bipolaire transistor met 100% parallele tegenkoppeling.

Maar hoe gedraagt transistor T1 zich in deze opstelling?

We voeren een ander experiment uit.

Stel een constanteingangsspanning (voedingsspanning) V_1 in en varieer vervolgens de instelweerstand van de ingangsstroom R (nogmaals, met hetzelfde succes, kunt u de ingangsspanning V_1 , of zelfs de weerstand R en de spanning V_1 variëren).



* Fig. 7
Invoergedeelte uitvoering van de BJT-stroomspiegel.

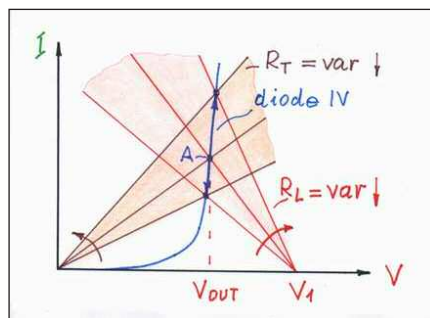


Fig. 8
Over elkaar geplaatste IV-curven van het invoerdeel.

Het resultaat is nog verbazingwekkender dan voorheen! Nu verandert de transistor zijn huidige weerstand $RT1$ tussen Collector en Emitter, zodat een bijna constante weerstandsverhouding $K = RT1 / (RT1 + R)$ wordt verkregen.

Als resultaat daarvan blijft de uitgangsspanning vrijwel constant $V_{OUT} = V_{CE1} = V_{BE} = \text{const}$

Op deze manier fungeert het uitgangscollector-emitterdeel van T1 als een spanningsstabiele niet-lineaire weerstand. Dit blijkt het recept om verschillende actieve diodes te maken.

‘Een wonder’ zegt de Wiki auteur!

De parallele tegenkoppeling heeft ervoor gezorgd, dat een stroomstabiele weerstand (het uitgangsgedeelte van T1) zich gedraagt als een spanningsstabiele weerstand!

Het is hetzelfde transistor type, maar deze doet in het eerste geval dienst als stroomstabil element en in het tweede geval als spanningsstabiel element.

De ‘omgekeerde transistor’

Tegelijkertijd vormen de ingangsspanningsbron V_1 en de stroominstellende weerstand R een samengestelde stroombron, die een stroom $I_{IN} = V_1 / R$ willen leveren via een spanningsstabiel element (de transistor T1). Overigens zijn sommige bijzondere cascode-circuits op hetzelfde principe gebaseerd (een stroombron levert een spanningsstabiel element en v.v.).

Het is interessant dat in deze situatie het spanningsstabiele element zijn bestaande weerstand verandert om de stroombron te "helpen" om de gewenste stroom te leveren.

Als we bijvoorbeeld weerstand R verlagen om de stroom te vergroten, zal ook T1 zijn huidige weerstand verlagen, waardoor de stroom en v.v. kunnen verhogen.

Daarbij past de transistor T1 zijn Basis-Emitterspanning aan, zodat de collectorstroom altijd $I_{IN} = V_1 / R$ is.

Als gevolg hiervan, hoewel het vreemd lijkt, dient de Collectorstroom als een ingangsgrootheid, terwijl de Basis-emitterspanning als een uitgangsgrootheid dienst doet!

De negatieve tegenkoppeling heeft de eenrichtingstransistor omgekeerd!

Een evenwichtspunt

Fig. 9.

Ontdekking van het evenwichtspunt van de stroominstellende transistor

Het is interessant te ontdekken hoe de transistor T1 erin slaagt het evenwichtspunt te bereiken (een systeem met negatieve tegenkoppeling bereikt altijd evenwicht).

We veranderen voor dit doel eerst de grootte van deingangsspanning V_1 of de weerstand R.

De transistor reageert op deze wijziging door z'n bestaande weerstand R_{T1} te veranderen ... maar tot waar?

Om dit te begrijpen voeren we een nieuw interessant experiment uit.

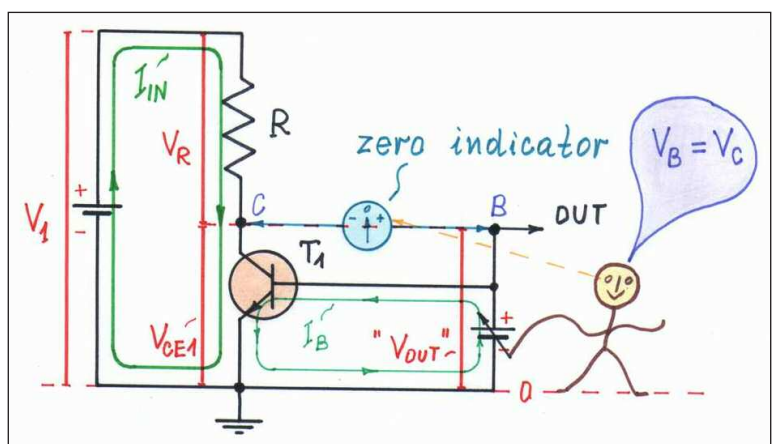
De tegenkoppeling (feedbacklus) verbreken we tijdelijk om de "echte" Basis-Emittertransistor in-voer via een aparte spanningsbron " V_{OUT} " aan te sturen (Fig. 9).

Daarbij verhogen / verlagen we de 'echte' transistoringangsspanning " V_{OUT} "; in ruil daarvoor zal de transistor zijn collectorspanning V_{C1} laten dalen / verhogen door de huidige weerstand R_{T1} te verlagen / verhogen.

Figuurlijk gesproken 'bewegen' de twee spanningen tegen elkaar in.

Om het negatieve tegenkoppelingsgedrag te imiteren, moeten we stoppen met het veranderen van " V_{OUT} " wanneer de twee spanningen gelijk worden (een nulindicator, die is aangesloten tussen Collector en Basis kan dit moment aangeven); dat is het evenwichtspunt.

Als we nu de nulindicator kortsluiten (sluit de Collector aan op de Basis of, zoals ze zeggen, sluit de feedbacklus), zal het systeem in rust blijven, zoals het zich op het punt van het evenwicht bevindt.



Een ander voorbeeld: de "transdiode"

Er is een paradoxale schakeling die hetzelfde doet, maar het is een bijna perfecte - logaritmische omzetter op basis van de zogenaamde 'transdiode' (is een BJT-transistor die is aangesloten in een opamp-tegenkoppeling [ref 4 Wiki]).

Hier dient in deze vreemde en ook nooit verklaarde configuratie de Collectorstroom als ingangsgrootheid, terwijl de Basis-Emitterspanning als uitgangsgrootheid werkt !!

Het enige verschil is dat er een extra opamp in het spel is, die de Basis-Emitterspanning van de transistor aanpast, zodat de Collectorstroom exact gelijk is en blijft aan de ingangsstroom. De opamp voert deze magie uit door de virtuele aarde te observeren en deze (bijna) gelijk aan nul te houden.

Complete schakeling samenstellen

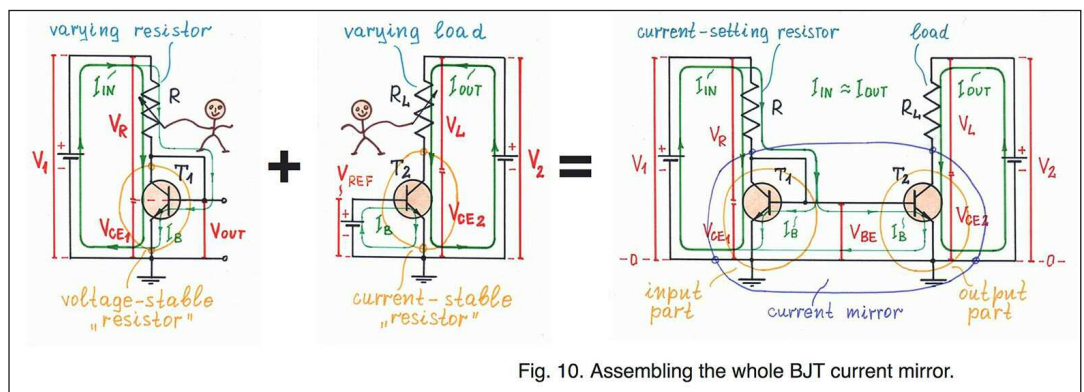
Tenslotte sluiten we alleen de uitgang van het ingangsdeel (Basis-Emitterovergang T1) op de ingang van het uitgangsdeel (de Basis-Emitterovergang T2) om de bekende BJT-stroomspiegel schakeling te bouwen!

Fig 10.

De hele BJT-stroomspiegel in elkaar zetten.

Het enige probleem is dat de transistor T2 een andere basisstroom I_B uit de ingangsstroom "zuigt". Als gevolg

hiervan is de uitgangsstroom kleiner dan de ingangsstroom:



Conclusie

Wiki auteur: "Wat heeft het voor zin om deze strakke benadering toe te passen - stap voor stap bouwen in plaats van het 'cut-and-dry' klassieke methode?"

Het voordeel is dat we nu verschillende stroomspiegelschakelingen kunnen bouwen met slechts één krachtig algemeen basis principe !

We weten nu wat de transistors T1 en T2 uiteindelijk in de schakeling doen. We kennen de waarheid over de basisstroomspiegel schakeling !

Referenties:

[2]

Feedback bij Bipolaire junctie transistoren

<https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-4/feedback/>

[3]

ECE3050

Analog electronics

Cursusonderdelen als download:

Homework Problems (set 01 t/m 19)

Set 02: Diode parameters en berekeningn

4 pag's

Set 03: transistor instelling

2 pag's

Set 09: differentiële versterker

3 pag's

Set 13: Current Mirror

3 pag's

Set 15: current source met FET

1 pag.

iSources:

5 pag's

Current Sources

FET, BJT, Opamp

<http://leachlegacy.ece.gatech.edu/ece3050/index.html>

https://en.wikibooks.org/wiki/Circuit_Idea/How_to_Reverse_Current_Direction

What is the basic idea behind the BJT current mirror?

Is it a reversible device (can we swap its input, and output) and why?

Min of meer een bewerking van bovenstaand artikel.

<https://www.researchgate.net/post/What-is-the-basic-idea-behind-the-BJT-current-mirror-Is-it-a-reversible-device-can-we-swap-its-input-and-output-and-why>

Widlar Current Mirror design using BJT_Memristor Circuits

31 mei 2018 - 4 pag's PDF

1805.06631.pdf

Non linear Circuits Handbook

Deel II, chapter 1 Function fitting, 136 pag's.

part2.pdf

Onderwerpen:

pag. 67 (39 uit PDF)

Shaping driehoek naar sinus golvorm

pag. 70 (42 PDF)

Driehoek/blok generator

Integrator met comparator

Frequentie sturen

pag. 76 (48 PDF)

praktische oscillator schakeling met twee opamps

Oneshot

pag. 85 voltage naar frequentie omzetter

met D flipflop

<https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/Nonlinear-Circuits-Handbook/Part2.pdf>

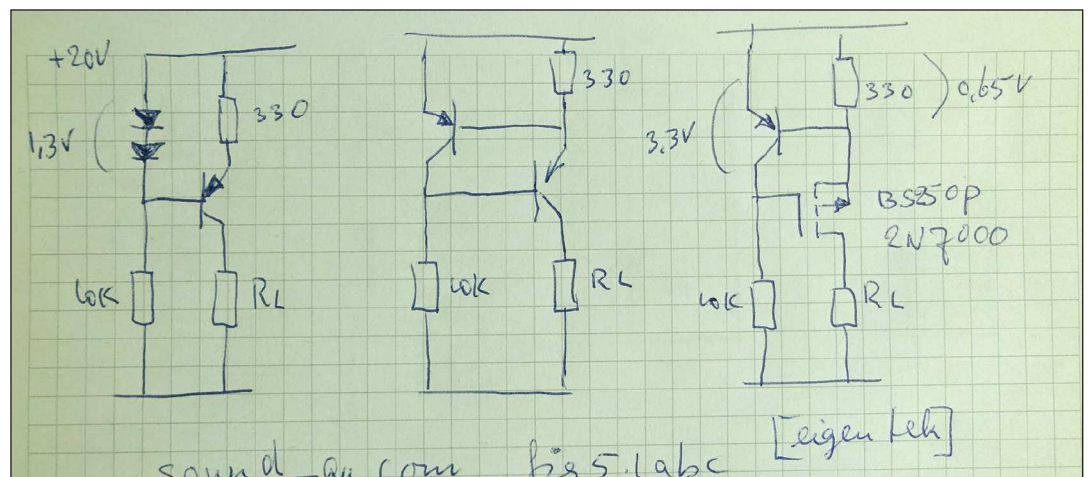
Using Current Sources Sinks and Mirrors in audio

<https://sound-au.com/ism.htm>

Schema van 3 stroombronnen.

Links met twee serie diodes, midden opgebouwd met 2 transistoren en rechts met 1 transistor en MOSFET.

De twee diodes kunnen ook een zener of



een LED zijn. De middelste schakeling werkt beduidend beter dan de linker.
In alle drie de schakelingen bepaald de 330 Ohm weerstand de stroom.
Voor goede stabiliteit dient de stroom door de 10 kOhm weerstand tussen de 10 - 20 x van de te verwachte stroom door 330 Ohm te zijn. Bij de MOSFET is er geen sprake van stroom door de poort (gate).

NB.

In de grafiek van Fig. 5.2 van de internetpagina moet de spanningsverdeling horizontaal worden aangegeven. Uit de Tabel 1 blijkt dat de stroom bij een belasting R L van 0 - 10 KOhm redelijk constant blijft in de 2-transistor opstelling. Bij de diode uitvoering is dat minder goed.

In Fig 5.3 zijn de Current Sink schakelingen getekend.

In fig. 7.1 wordt de Current Mirror uitgelegd.

Het toevoegen van emitter weerstanden kan handig zijn, indien de transistoren wat spec's niet op elkaar aansluiten (geen goede match).

Referentie

http://www.designinganalogchips.com/_count/designinganalogchips.pdf

designinganalogchips.pdf

242 pag's PDF door Hans Camaenzind

febr. 2005

Deze onderwerpen:

blz. 1-18 Early effect

blz. 1-27

Diodes, de emitter/basis junctie voorziet in een 'diode' functie, maar met een lage Breakdown spanning van ca. 6 Volt! De basis heeft een behoorlijk hoge weerstand.

Het is mogelijk om de andere collector met de meest negatieve spanning te voeden om daarmee het altijd reverse-biased te houden.

blz. 2-8 Diode Model

blz. 3-1 Current Mirrors

blz. 4-1 The Royal Differential Pair

blz. 5-1 Current Sources

blz. 7-1 Bandgap references

blz. 9-1 Comparators

blz. 10-1 Transconductance Amplifiers (LM13700, CA3280)

blz. 11-1 Timers and Oscillators

555 en CMOS uitvoering

Low-Voltage 555: Camaenzind, Hans R.: "Redesigning the old 555", IEEE Spectrum, September 1997, pp. 80-85

blz. 11-11 Shaping triangle-wave

blz. 12-1 Phase locked loop

blz. 13-8 Switched Capacitors Filters

Current Mirror Circuit (Part 1)

<https://circuitdigest.com/tutorial/current-mirror-circuit>

Current Mirror Circuit: **Wilson and Widlar Current Mirroring Techniques**

Sourav Gupta 2019

Wilson, Widlar

<https://circuitdigest.com/tutorial/current-mirror-circuit-wilson-and-widlar-current-mirroring-techniques>

the-gears-of-genius.pdf

IEEE Solid state circuit society news

Barrie Gilbert

76 pag's.

<http://hephaestusaudio.com/media/2009/06/the-gears-of-genius.pdf>

blz. 21 Fig. 14.

Waarbij $IC1 \cdot IC3 \equiv IC2 \cdot IC4$ under certain trivial and readily-met assumptions. In other words, here was a circuit form that did not process signals as voltages mixed with currents, but thrived entirely on a diet of current-ratios

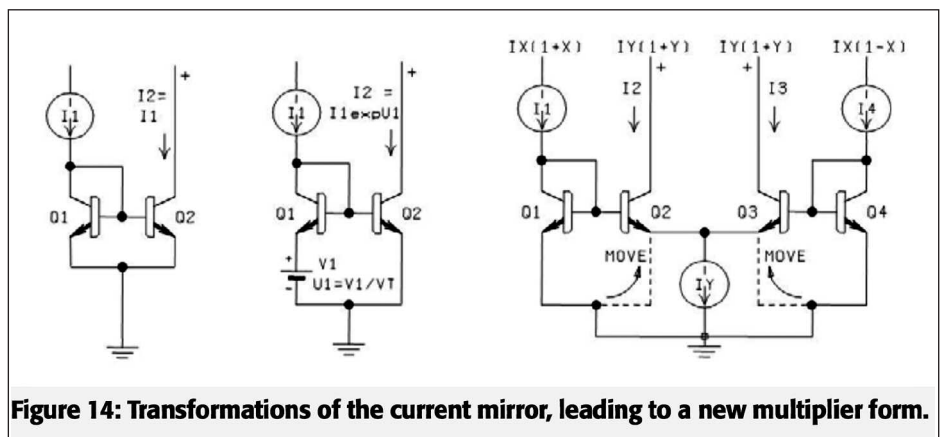


Figure 14: Transformations of the current mirror, leading to a new multiplier form.

Publicaties:

<https://sscs.ieee.org/publications>

<https://sscs.ieee.org/publications/ieee-journal-of-solid-state-circuits-jssc>

- Uitsluitend met inloggegevens te raadplegen:

ISSCC 2012 Short Course:

Power Limits for Amplifiers and Filters ISSCC 2012 Short Courses and Tutorials

up and down a bit but look at the red stuff. 79. Reduced Distortion by Cross-Coupling Cross-coupling; the trick used by Barry Gilbert a long time ago to make multipliers, but it's like a multiplier and where the currents are different, so something is ...

ISSCC 2012 Short Course: Ultra-Low-Power/Ultra-Low-Voltage Analog Circuit Design ISSCC 2012 Short Courses and Tutorials exploit the exponential I-V characteristic. And here we can mention translinear circuits that were actually invented by Barry Gilbert and for bipolar transistor and you can then translate them into MOS transistors using weak inversion. And finally ,...

Considering Multipliers (Part 1)

Wit and Wisdom of Dr. Leif.

Translinear current-mode multiplier

<https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/considering-multipliers-part-1.html#>

<https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Translinear-circuits.pdf>

<https://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-079.pdf>

STROOMBRONNEN EN VOEDINGEN

Is de LM317 in te zetten om een micro-ampere stroombron te maken?

Fig. 26. current regulator

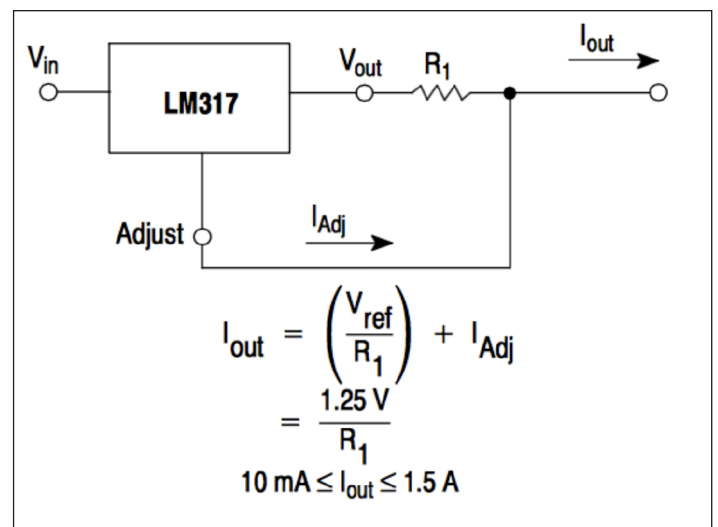
tekening uit datasheet

$$I_0 = (V_{ref} / R_1) + I_{ADJ} = 1.25 \text{ Volt} / R_1$$

De stroom wordt hierbij bepaald door de waarde van R1.

De gegevens gaan uit van minimaal 5 - 10 mA voor een stabiele werking bij dit IC.

De lage U Adj. spanning is sterk afhankelijk van de temperatuur, pas bij 55 uA en hoger vlakt deze af. Met een extra belastingsweerstand wordt toch 120 uA voor I Adj. gebruikt.



<https://electronics.stackexchange.com/questions/211249/lm317-%C2%B5a-constant-current-source-possibility>

LM317 constant-current power supply

The LM317 regulates by adjusting it's output until it is 1.25 V higher than the voltage on the adjust pin. Or 1,25 V lower on the Adjust pin against the output voltage.

For a constant current supply we just need to add in a series resistor to drop 1.25 V at the required current.

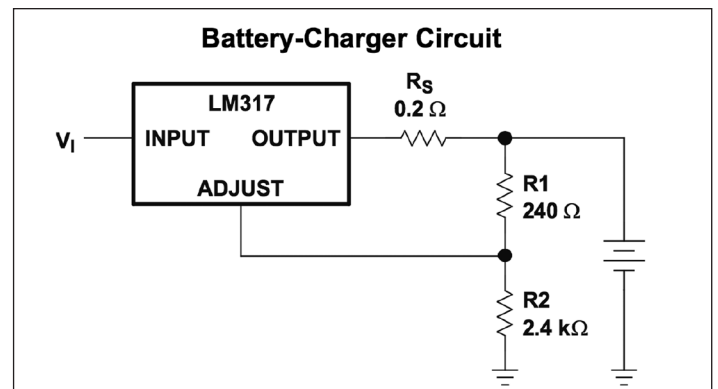
$$I = 1,25 / R1$$

<http://lednique.com/power-supplies/lm317-constant-current-power-supply>

LM317 3 Terminal adjustable Resistor

LM317 Texas Instruments.pdf

Ingangscondensator 0,1 uF en 10 uF



https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf?ts=1616831355169&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.it%252F

Calculate LM317 ADJ resistor

Bij uitgangsspanningen groter dan 25 V of een uitgangscapaciteit groter dan 10 μ F moeten beschermingsdiodes worden gebruikt. Plaats D1 tussen Vout en Vin over de regelaar en D2 tussen Adj en Vout over R1.

<https://www.spi-electronics.nl/index.php/lm317>

Spanningsstabilisatie

6 Volt input
1.4 V output
R1 220 Ohm
R2 26 Ohm

6 Volt input
1.3 V output
R1 220 Ohm
R2 9 Ohm

6 Volt input
1.3 V output
R1 1000 Ohm

R2 38 Ohm

6 Volt input

1.28 V output

R1 170 Ohm

R2 4 Ohm

Ondergrens 1,25 V voor uitgangsspanning in deze schakeling.

IC regulated power

deel III Opamps voor audio stabiliteit

IC_Regulated_Power.pdf

7 pag's PDF

https://refsnregs.waltjung.org/IC_Regulated_Power.pdf

Design LM317 constant current circuits

<https://www.bristolwatch.com/ccs/LM317.htm>

LM117 / LM317A / LM317

3 terminal Adjustable Regulator

LM117/LM317A/LM3173-Terminal Adjustable Regulator

General Description

<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8600/NSC/LM117.html>

LM317

Meest bekende stabilisatie IC

<https://en.wikipedia.org/wiki/LM317>

ECE 32

Electronic Devices and Circuits Laboratory I

Bandgap Voltage Reference Example LM317

Onderdeel van schema IC uitgelicht.

lab3_vreg_lm317_example.pdf

Temperature-compensated 1.25 V voltage reference

A16 en Q18 matched PNP transistors as Current Mirror.

Basis- en Emitter aansluitingen doorverbonden.

http://www.tedpavlic.com/teaching/osu/ece327/lab3_vreg/lab3_vreg_lm317_example.pdf

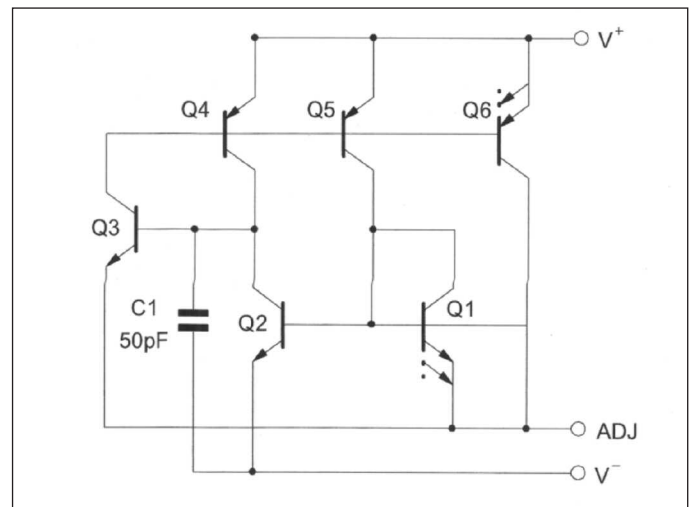
Wayback machine

The best of Bob Pease

The design of **Band-Gap** reference circuits:
trials and Tribulations

Fig. 1. LM113 vereenvoudigd schema

<https://web.archive.org/web/20060203095838/>



<http://www.national.com/rap/Application/0%2C1570%2C24%2C00.html>

Originally published in the IEEE Proceedings of the 1990 Bipolar Circuits and Technology Meeting, September 17-18 1990 in Minneapolis, Minnesota.

Copyright 1990 IEEE.

Personal use of this material is permitted. However, permission to reprint/republish this material for advertising or promotional purposes or for creating new collective works for resale or redistribution to servers or lists, or to reuse any copyrighted component of this work in other works must be obtained from the IEEE.

LM113 bij National Semiconductor

(Wayback machine)

LM113.pdf [datasheet MAP]

Versterker, constante stroombron en thermometer

<http://www2.national.com/ds/LM/LM113.pdf>

<http://datasheetreference.com/lm317-datasheet.html>

BOUW PROJECT Zonnecel accu lader

Solar Battery Charger Using the LM317

A small solar panel makes an excellent battery charger for AA and AAA rechargeable batteries. Only a few components are required and construction is very simple making this a perfect first renewable energy project.

Rechargeable AA and AAA batteries have a voltage of around 1.2 Volts when fully charged. Therefore 2 in series gives a total of 2.4 Volts, 4 in series 4.8 Volts. Common solar panel output voltages are 3 Volts

Solar charger using a 6 Volt 250 mA Solar Panel to charge four 800 mAh AAA batteries. The batteries can be put into a couple of 2 x AAA battery holders and wired in series.

This gives $4 \times 1.2 = 4.8$ Volts with a capacity of 800 mAh - therefore we want a charging current of around 80 mA. According to the table, a 15 Ohm resistor gives a fixed current of 83.3 milliamps which will be perfect.

The power loss in the resistor is again given by Ohm's Law as $I^2 \cdot R = 0.0833^2 \cdot 15 = 0.10$ Watts, therefore we can safely use a standard 0.25 Watt 15 Ohm resistor.

<http://www.reuk.co.uk/wordpress/storage/solar-battery-charger-with-lm317t/>

Choosing the Resistor for the LM317T Current Limiting Circuit

Table of available resistor values versus output current generated if each resistor is used in an LM317T current limiting circuit (R = resistance, I = current).

R (Ohms)	3.9	4.7	5.6	6.8	8.2	10	12	15	18	22	27	33
I (mA)	321	266	223	184	152	125	104.2	83.3	69.4	56.8	46.3	37.9

Therefore using the table we can see that to charge 1000 mAh AAA rechargeable batteries with a current of 100 mA, a 12 Ohm resistor would be perfect. A 15 Ohm resistor would reduce the current and slow down charging, a 10 Ohm resistor would increase the current and speed up charging (but risk overcharging).

Application Note 181

3 terminal regulator, adjustable

three LM317.pdf

National Semiconductor

<https://intranet.ctism.ufsm.br/gsec/Applications/lm317.pdf>

LED verlichting bij modelspoorbanen

25 mA vaste stroombron bij o.m. 12 V voedingsspanning

LKS-1_Handleiding_2016_09_NL PDF

handleiding LED Constante stroombron

BC547B

470 Ohm, basisweerstand

220 Ohm, emitter weerstand

4,7 V zener diode van basis naar massa

LED (s)

ev. externe diode 1N400x 1N4002 - 4007 bij wisselspanning

https://tams-online.de/WebRoot/Store11/Shops/642f1858-c39b-4b7d-af86-f6a1feaca0e4/MediaGallery/15_Download/Anleitungen_NL/72/LKS-1_Handleiding_2016_09_NL.pdf

Stroombron module Hackerstore

<https://hackerstore.nl/Artikel/1215>

Schermafbeelding

Deze module zet een spanning om in stroom. Geschikt om een constante stroom te genereren met een simpele instelpotmeter of desgewenst met een Arduino of andere microcontroller.

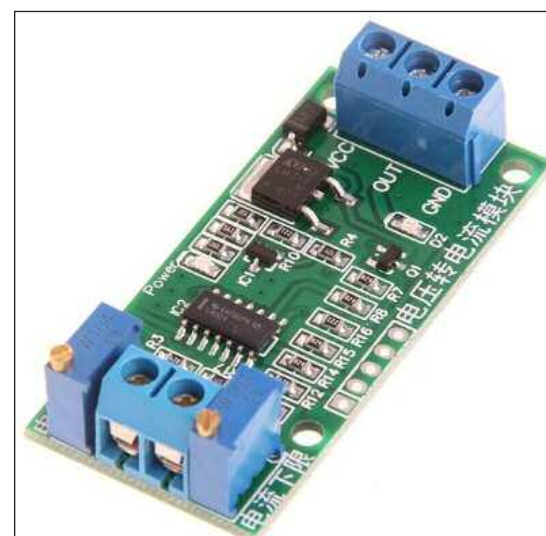
Converteert 0 - 5V naar 4 - 20 mA: lineaire omzetting.

Ingangsspanning: 0-5 V

Uitgangsstroom: 4-20 mA

Voedingsspanning: 12-24 V

Afmetingen: circa 5,5 x 2,5 cm



Met 2 instelpotmeters kan het nulpunt en het bereik nauwkeurig worden afgeregeld.

A Large Current Source with High Accuracy and Fast Settling

by Nick Jiang, Analog Devices

A Large Current Source PDF

Enhanced Howland current source

<https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/a-large-current-source-with-high-accuracy-and-fast-settling.html>

Analyze Circuits with Two Independent Sources Using Superposition

By John Santiago

Berekening van stroom- spanningsbron schakelingen met superpositie.

Met deze methode is het mogelijk om complexe lineaire schakelingen, bestaande uit meerdere afzonderlijke bronnen om te zetten naar een, eenvoudige schakeling met één bron.

<https://www.dummies.com/education/science/science-electronics/analyze-circuits-with-two-independent-sources-using-superposition/>

dummies current source

Planet Analog - An Analog Tutorial: Current sources

tribute to Mark Stitt (Burr-Brown) door Steve Taranovich

planetanalog.com-An Analog Tutorial Current sources.pdf

Full Wilson architecture

Widlar current source

Howland current source

<https://www.planetanalog.com/an-analog-tutorial-current-sources/#>

References

- 1) Implementation and applications of current sources and current receivers, Burr-Brown application guide AN-165-A, by R. Mark Stitt.
- 2) Electronics notes Active transistor constant current source

3) EEEB273 – Electronics Analysis & Design II by Dr. Jamaludin Bin Omar

4) Current-Output Circuit Techniques Add Versatility to Your Analog Toolbox, by James Bryant

Internet archive (—> referentie nr. 1 Planet Analog pagina)

Implementation and applications of current sources and current receivers

Application GUIDE

Burr-Brown App Bulletins collectie PDF
ruim 100 MB

Hoofdstukken:

p. 2 opamps

p. 5 voltage and current references and active filters

p. 10 voltage to frequency converters

p. 20 Voltage controlled current sources

p. 23 bidirectional current source met behulp van diodes, 1N4148

p. 24 fig. 46 en 47: precision triangle waveform generator

<https://archive.org/details/BurrBrown-CollectionOfApplicationsBulletinsOCR/page/n5/mode/2up>

Electronics notes Active transistor constant current source

(—> ref. 2)

Active Transistor Constant Current Source

met zener, PNP NPN configuratie (temp. stabiel)

https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/transistor/active-constant-current-source.php

Current-Output Circuit Techniques Add Versatility to Your Analog Toolbox

(—> ref. 4)

by James Bryant

current-output-circuit-techniques-add-versatility.pdf

3 pag's.

What is Source- and Sink Current

Believer

<http://electronicsbeliever.com/what-is-source-and-sink-current/>

Technical Article

How to Design a Precision Current Pump with Op-Amps

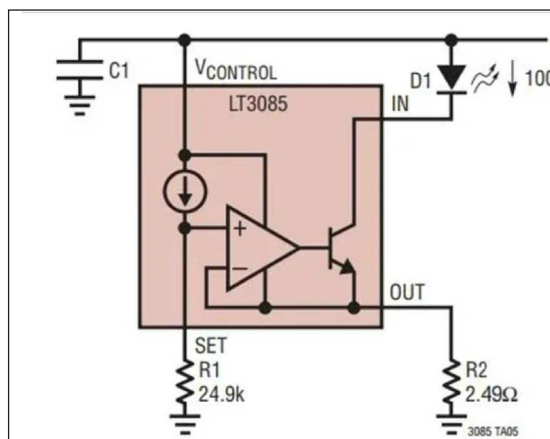
October 16, 2020 by Robert Keim

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-to-design-a-precision-current-pump-with-op-amps/>

In dit artikel wordt een spannings gecontroleerde stroombron besproken, met slechts 2 opamps en een handvol weerstanden.

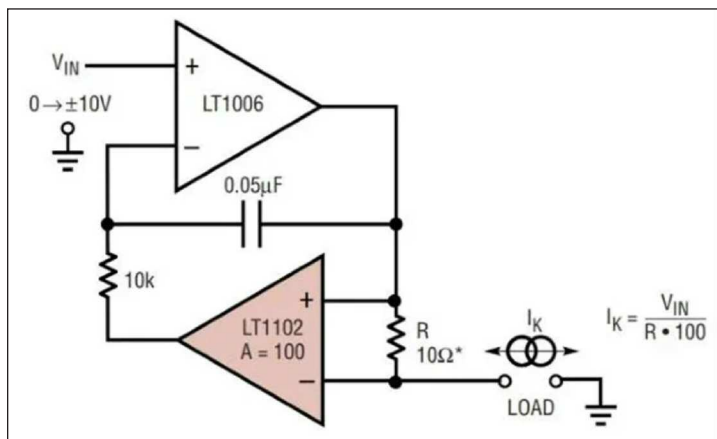
A voltage-controlled current-source circuit that requires only two op-amps and a handful of resistors. (LT1006 en LT1102)

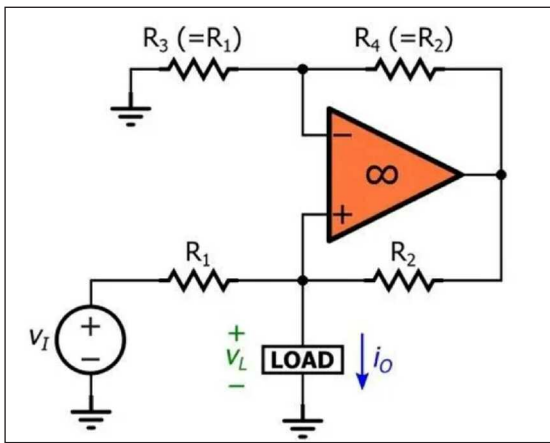
LT3085 Linear Devices (Analog Devices)



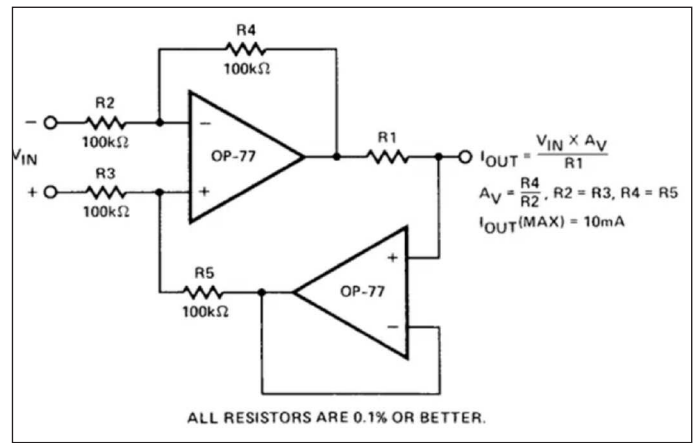
Afb. 1. LT3085. Image Linear Devices (Analog Devices).

Afb.2. Voltage programmable current source. Image Linear Devices (AD).

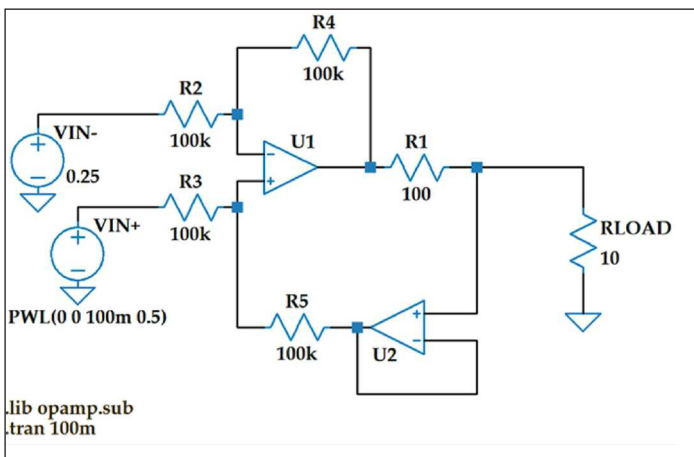




Afb. 3. Howland current pump. Image AD.



Afb. 4. Precision current pump OP-77. Image AD.



Afb. 5. Basic 2-opamp current source. LTSpice picture

2 Opamp topology (2 x OP-77) current pump, Afb. 4.

Application datasheet OP77

versterking 10 miljoen !!

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/OP77.pdf>

OP77.pdf

16 pag's

100 mA current source fig. 30.

Eenvoudige uitvoering IC heet OP07.

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/how-to-design-a-precision-current-pump-with-op-amps>

Conclusion:

A bidirectional current-source circuit that has reasonable BOM requirements and incorporates a differential control-voltage input stage.

Designers guide to instrumentation amplifiers

3de edition

mDesign-handbooks/designers-guide-instrument-amps-complete.pdf

130 pag's PDF

vanaf pag 6-3 (p. 79 in PDF)

Fig. 6-7 Precision +/- 1 mA DC Current source, AD8553

Fig. 6-8 Low frequency differential input integrators for PID loop

page 6-24 (p. 100 in PDF)

A precision voltage to current converter, fig. 6-48.

<https://www.analog.com/media/en/training-seminars/design-handbooks/designers-guide-instrument-amps-complete.pdf>

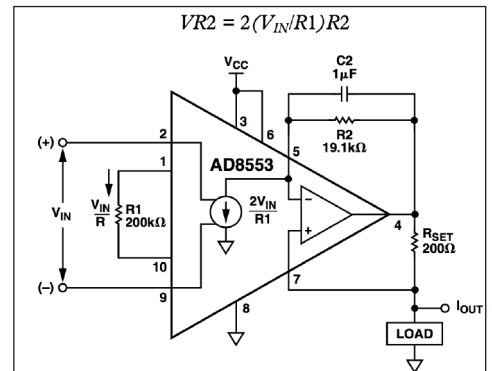


Figure 6-7. Precision ± 1 mA dc current source.

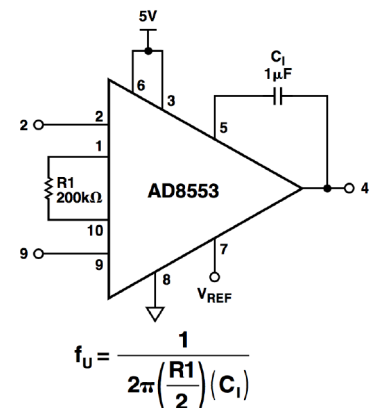


Figure 6-8. Low frequency differential input integrators for PID loop.

The Howland Current Pump

with voltage level instead of ground

Vragen over Howland Pump

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/the-howland-current-pump>

<https://forum.allaboutcircuits.com/threads/howland-current-pump-with-voltage-level-instead-of-ground.161806>

The Howland current pump, invented by MIT's Professor Bradford Howland in the early 1960s, consists of an op-amp and a balanced resistor bridge and puts out current in either direction.

The Howland current pump is a circuit that accepts an input voltage v_I , converts it to an output current $i_O = A v_I$.

With A as the transconductance gain, and pumps i_O to a load L_D , regardless of the voltage v_L developed by the load itself.

Howland allabout map (2 html pages)

Ook met negatieve spanning bij de bron wordt stroom geleverd.

Texas Instruments
AN-515
A comprehensive study Howland current Pump
17 pages

SNOA474A.pdf

Application Report
January 2 008 – Revised April 2013 AN-1515A

<https://www.ti.com/lit/an/snoa474a/snoa474a.pdf>

It is well known to analog experts that you can use the positive and negative inputs of an operational amplifier to make a high-impedance current source (current pump).

This basic circuit can put out both + and - output current (or zero current) into various loads.

The theory is simple. But the practical problems involved are not so simple or obvious. This application note provides an indepth study of the Howland Current Pump.

LM344

Bristolwatch.com
Setting current for a thermister (Application Note)

LM334

LM334 Constant Current Source with Resistive Sensors
by Lewis Loflin

<https://www.bristolwatch.com/pdf/lm334.pdf>
https://www.bristolwatch.com/ccs/LM334_sensors.htm

PSSI2021SAY

Constant current source in SOT353 package
Nexperia

PSSI2021SAY.pdf

Fig. 5. LED driver application diagram. NXP Semiconductors.

Een standaard toepassing als LED driver. De stroombron zorgt voor een constante helderheid.

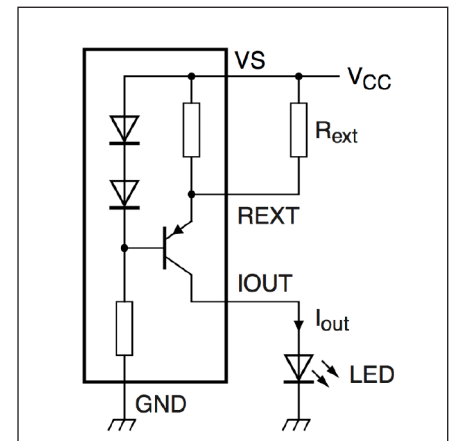
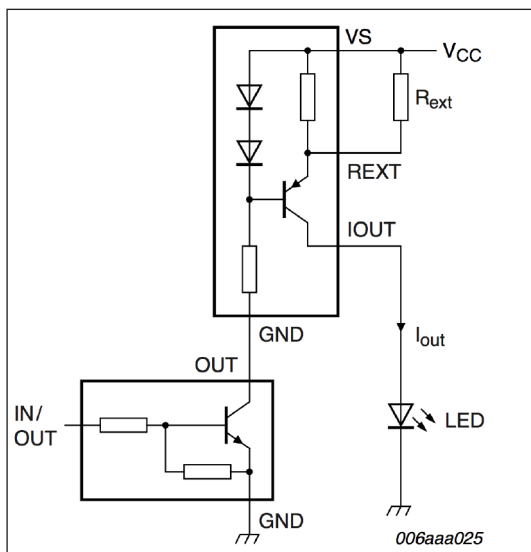


Fig. 6. Switching the current. NXP Semiconductors.



De uitgang kan aan/uit worden geschakeld door het toevoegen van een transistor.

<https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/PSSI2021SAY.pdf>

Sources 101: Audio Current Regulator Tests for High Performance

Part 1: Basics of operation

In April and May 2007, AudioXpress published a two-part article by Walter G. (Walt) Jung, noted designer and author of the IC Op Amp Cookbook and Op Amp Applications Handbook series.

It also details a test methodology to characterize these audio current regulation elements and circuits for sensitivity to applied voltage and demonstrate how measurement tests can help reveal which configuration is best for your power supply application.

<https://audioxpress.com/article/Sources-101-Audio-Current-Regulator-Tests-for-High-Performance-Full-Article>

Article Introduction by Walt Jung

Because audio current regulators are often referred to as current sources, and the performance aspects of such for audio are basic, the article is logically entitled "Sources 101."

www.waltjung.org/waltsblog/ [Niet meer actief]

Part 1: Basics of Operation

https://audioxpress.com/assets/upload/files/Sources_101_P1.pdf

mmSources_101_P1.pdf

audio current regulator

Part 2: Precise High Current/Voltage Operation

Two letters on the two-part series 'Sources 101', were published in AudioXpress, September 2007, pp. 56-60. Included along with this discussion is performance of enhanced circuit versions both in SPICE, and lab tests.

Sources_101_P2.pdf

LM317 datasheet

Appendum

https://audioxpress.com/assets/upload/files/AX_Letters_0907.pdf

AX letters.pdf

References

1. Walt Jung, "Regulators for High Performance Audio, parts 1 and 2," The Audio Amateur, issues 1 and 2, 1995.
2. "LM134/234/334 3-Terminal Adjustable Current Sources," National Semiconductor, March 2005, www.ti.com
3. Arthur D. Evans, Designing With Field-Effect Transistors, McGraw-Hill, ISBN 0-07-057449-9, 1981.
4. "The FET Constant-Current Source/Limiter," Application Note AN103, Vishay/Siliconix, March 10, 1997, www.vishay.com
5. "J500 Series Current Regulator Diodes," Vishay/Siliconix, July 2, 2001, www.vishay.com

Wayback:

waltjung.org

WaltJung.org web. This site provides access to various archived papers, plus selected blog pages.

Linked sites:

CFAs

WaltJung.org provides access to selected info on CFAs, as originally posted on Waltsblog. See "A_All_CFAs_Files.txt" for latest listing.

[## CFAs_0717_110418.pdf](#)

Some useful Background reading on **Current Feedback amplifier**.

July 8 2017 Walt Jung 9 Comments

RefsnRegs.WaltJung.org provides access to selected info on Reference and Regulator circuits, as originally posted on Waltsblog.

See "A_All_RefsnRegs_Files.txt" for latest listing.

[## current_Feedback_Amplifiers Benefit High Speed Designs Franco EDN 010589.pdf](#)

10 pages

WALT JUNG BOOKS

https://ebooks.waltjung.org/Walt's_Blog_2018_Books.pdf

Audio IC opamp book Applications by Walter G. Jung

cover en achterzijde 7 pag's.

[## Audio_IC_Op_Amp_Applications_Jung_1975_2015s_Preview_2.pdf](#)

7 pag's inhoudsopgave

https://ebooks.waltjung.org/Audio_IC_Op_Amp_Applications_Jung_1975_2015s_Preview_2.pdf

BOEK:

[## IC_Array_Cookbook_Jung_1980_2016s_Preview1.pdf](#)

https://ebooks.waltjung.org/IC_Array_Cookbook_Jung_1980_2016s_Preview1.pdf

8 pag's inhoudsopgave

waltjung.org

tijdschrift artikel

Current feedback amplifiers benefit high speed design

blz. 168 implement an integrator

EDN jan 5 1989

[## High performance audio stages using Transimpedance amplifiers by Walt Jung](#)

4 pages

AD744JN

ADB11AN

https://cfas.waltjung.org/High_Performance_Audio_Stages_Using_TransZ_Amps.pdf

[## mk_CFA_rebuttal_071117.pdf](#)

4 pages

Response to Michael Kiwanuka's "Current Feedback and Voltage Feedback Fallacies" as appearing in AudioXpress, June 2017

[## Op_Amp_Applications_Extract_OP_AMP_TOPOLOGIES.pdf](#)

8 pages

OP AMP TOPOLOGIES

As Excerpted From Op Amp Applications Walt Jung 8/ 31/ 2017

OA-07 Current Feedback Opamp application circuit guide

Oude Texas Instruments AN

(OBSOLETE) SNOA365C

1988

[## snoa365c.pdf](#)

22 pages

blz. 13: Integrator: het is belangrijk om grote capaciteiten buiten de negatieve feedback loop te houden. Met 2 opamps is dat op te lossen, of met een serie weerstand.

<https://www.ti.com/lit/an/snoa365c/snoa365c.pdf>

ADALM2000 Activity learning module

Stabilized Current Source

2x 2N3904 en weerstanden etc.

<https://www.analog.com/en/analog-dialogue/studentzone/studentzone-january-2021.html>

ADALM2000 Activity

A Floating (2-Terminal) Current Source/Sink

<https://www.analog.com/en/analog-dialogue/studentzone/studentzone-february-2021.html>

Algemene startpagina

<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/philbrick/040-049.pdf>

Widlar current source

**

[## wiki WIDLAR current](#) map wiki widlar current (html)
analyse Widlar current source

https://en.wikipedia.org/wiki/Widlar_current_source

Links naar:

Current source

Current mirror

Wilson current source

References

PR Gray, PJ Hurst, SH Lewis & RG Meyer (2001). Analysis and design of analog integrated circuits (4th ed.). John Wiley and Sons. pp. §4.4.1.1 pp. 299–303. ISBN 0-471-32168-0.

AS Sedra & KC Smith (2004). Microelectronic circuits (5th ed.). Oxford University Press. Example 6.14, pp. 654–655. ISBN 0-19-514251-9.

MH Rashid (1999). Microelectronic circuits: analysis and design. PWS Publishing Co. pp. 661–665. ISBN 0-534-95174-0.

AS Sedra & KC Smith (2004). §9.4.2, p. 899 (5th ed.). ISBN 0-19-514251-9.

AS Sedra & KC Smith (2004). Microelectronic circuits (5th ed.). Oxford University Press. Example 6.14, pp. 654–655. ISBN 0-19-514251-9.

MH Rashid (1999). Microelectronic circuits: analysis and design. PWS Publishing Co. pp. 661–665. ISBN 0-534-95174-0.

AS Sedra & KC Smith (2004). §9.4.2, p. 899 (5th ed.). ISBN 0-19-514251-9.

See, for example, Figure 2 in IC voltage regulators.

meeste links werkten niet meer !

RJ Widlar: US Patent Number 03320439; Filed May 26, 1965; Granted May 16, 1967: Low-value current source for integrated circuits

See Widlar: Some circuit design techniques for linear integrated circuits and Design techniques for monolithic operational amplifiers

PR Gray, PJ Hurst, SH Lewis & RG Meyer (2001). Figure 2.38, p. 115. ISBN 0-471-32168-0.

Of course, one might imagine a design where the output resistance of the mirror is a major consideration. Then a different approach is necessary.

In a diode-connected transistor the collector is short-circuited to the base, so the transistor collector-base junction has no time-varying voltage across it. As a result, the transistor behaves like the base-emitter diode, which at low frequencies has a small-signal circuit that is simply the resistor $r_E = V_T / I_E$, with I_E the DC Q-point emitter current. See diode small-signal circuit.

Further reading

Linden T. Harrison (2005).

Current Sources and Voltage References:

A Design Reference for Electronics Engineers.

Elsevier-Newnes. ISBN 0-7506-7752-X.

https://books.google.nl/books?id=03JmxE39N4C&redir_esc=y

enkele pagina's weergegeven

Inhoudsopgave:

- 2 An Introduction to Current Sources 13
- 3 The PN Junction 31
- 4 Using BJTs to Create Current Sources 47
- 5 Using Precision Matched Pairs Duals and Quads 125
- 6 Using JFETs and CRDs to Create Current Sources 137
- 7 Creating Medium Power Current Sources with DMOS FETs 185
- 8 Creating Current Sources with Power MOSFETs 203
- 11 Creating Precision Current Sources with Op Amps and Voltage References 281
- 12 An Introduction to Voltage References 319
- 13 The zener Diode and the TC zener Reference 363
- 14 Characteristics of Monolithic Voltage References 403
- 15 A Review of Some Outstanding Monolithic Voltage References and Their Applications 437

A References and Tables 513

B Glossary 525

C Bibliography 535

9 Using Analog CMOS Arrays to Create Current Sources 231

10 Using Monolithic IC Current Sources and Mirrors 261

D Contact Information 543

Pagina 114: Fig. 4.48

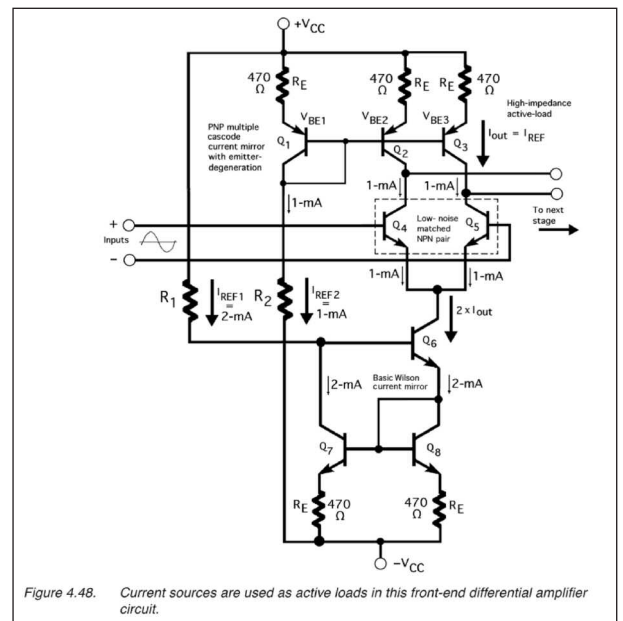


Figure 4.48. Current sources are used as active loads in this front-end differential amplifier circuit.

Pagina 128: Table 5.1

overzicht IC typen LM, MAT, SSM, LSIT, LS series

(F5) device. The SSM2210 (a matched NPN pair) costs approximately \$2.24 each at 1000 pieces in either DIP-8 or SOIC-8 packages. The SSM2220 (a matched PNP pair) costs approximately \$2.73 each at 1000 pieces in either DIP-8 or SOIC-8 packages. These prices were shown on both manufacturers' respective Web sites but are applicable to U.S. buyers only.

Mfr.	Part #:	Matched pair/quad	Package options:	V _{OS} max μ V	V _{OS} min μ V/ $^{\circ}$ C	I _{FE} min	Δ I _{FE} Max. %	θ_{n} typ. mV/ \sqrt{Hz}	Op. temp. range
NS	LM 194H	Dual NPN	1	100	0.3	300	2	1.8	ML
NS	LM 194H	Dual NPN	1	150	1	200	4	1.8	Ind
NS	LM 394BH	Dual NPN	1	200	1.5	150	5	1.8	Ind
NS	LM 394CH	Dual NPN	1	200	1.5	150	5	1.8	Ind
AD	MAT 014H	Dual NPN	3	100	0.5	300	3	6.1	ML
AD	MAT 014H	Dual NPN	3	100	1.8	250	3	6.1	ML
AD	MAT 024H	Dual NPN	3	50	0.3	400	2	0.9	Ind
AD	MAT 024H	Dual NPN	3	150	1	300	4	0.9	Ind
AD	MAT 032H	Dual PNP	3	100	0.5	80	3	0.7	Ind
AD	MAT 032H	Dual PNP	3	200	1	80	6	0.7	Ind
AD	MAT 044H	Dual NPN	5	400	2	300	4	1.8	Ind
AD	MAT 045H	Quad NPN	6	400	2	300	4	1.8	Ind
AD	SSM 2210P	Dual NPN	2,8	200	1	300	5	1.0	Ind
AD	SSM 2210S	Dual NPN	2,8	200	1	300	5	1.0	Ind
AD	SSM 2210S2	Dual NPN	2,8	200	1	300	5	1.0	Ind
AD	SSM 2220P	Dual PNP	2,8	200	1	80	2	1.0	Ind
AD	SSM 2220S	Dual PNP	2,8	200	1	80	2	1.0	Ind
LIS	LS111 110A	Dual NPN	2,3,4,7,8	400	3	200	2	1	Ind/ML
LIS	LS111 110A	Dual NPN	2,3,4,7,8	400	3	200	2	1	Ind/ML
LIS	LS 301	Dual NPN	2,3,4,7,8	1000	5	2000	5	1	Ind/ML
LIS	LS 302	Dual NPN	2,3,4,7,8	1000	5	1000	5	1	Ind/ML
LIS	LS 303	Dual NPN	2,3,4,7,8	1000	5	2000	5	1	Ind/ML
LIS	LS 310	Dual NPN	2,3,4,7,8	1000	2	150	10	1	Ind/ML
LIS	LS 311	Dual NPN	2,3,4,7,8	1000	5	150	5	1	Ind/ML
LIS	LS 312	Dual NPN	2,3,4,7,8,9	500	2	200	5	1	Ind/ML
LIS	LS 313	Dual NPN	2,3,4,7,8	1000	5	400	5	1	Ind/ML
LIS	LS 318	Dual NPN #	2,3,4,7,8	400	5	150	5	1	Ind/ML
LIS	LS 351	Dual PNP	2,3,4,7,8	1000	10	150	5	1.5	Ind/ML
LIS	LS 352	Dual PNP	2,3,4,7,8,9	500	2	200	5	1.5	Ind/ML
LIS	LS 358	Dual PNP #	2,3,4,7,8	400	5	100	5	1	Ind/ML

NOTES:
 NS = National Semiconductor AD = Analog Devices LIS = Linear Integrated Systems
 Package options:
 1 = 6-lead, isolated header, TO-5 metal can; 2 = 8-pin plastic DIP; 3 = 6-lead, isolated header, TO-7B metal can;
 4 = 6-lead, isolated header, TO-71; 5 = 14-pin plastic DIP; 6 = 14-pin SO; 7 = SOIC-8; 8 = SOT-23/8pin;
 # = SOT-23/8pin; # = Log configuration
 BJT precision matched-pairs and quads.

An Analog tutorial Current sources

PLANET ANALOG map (html)

- vanaf de allereerste eenvoudige transistor schakeling, naar uitwerking van de current mirror.
- Full Wilson architectuur
- Wilson met 4 transistoren
- Widlar current source

<https://www.planetanalog.com/an-analog-tutorial-current-sources/#>

References

1. Implementation and applications of current sources and current receivers, Burr-Brown application guide AN-165-A, by R. Mark Stitt

<https://archive.org/details/BurrBrown-CollectionOfApplicationsBulletinsOCR/page/n5/mode/2up>

Burr brown collectie

[BurrBrown-CollectionOfApplicationsBulletinsOCR.pdf](#)

257 pag's PDF

Collection of Application Bulletin

<https://ia600300.us.archive.org/29/items/BurrBrown-CollectionOfApplicationsBulletinsOCR/BurrBrown-CollectionOfApplicationsBulletinsOCR.pdf>

Section 10

Voltage to frequency converters page 177

SN74121 one shot en VFC320 IC

2. Electronics notes Active transistor constant current source

What is a constant current source?

Active current source applications

Simple resistor current source circuit

Transistor active constant current source basics

Simple stabilised active current source circuit

Active current source temperature dependence

Active current source circuits with good temperature stability

https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/transistor/active-constant-current-source.php

3. EEEB273 – Electronics Analysis & Design II by Dr. Jamaludin Bin Omar

4. Current-Output Circuit Techniques Add Versatility to Your Analog Toolbox, by James Bryant <https://www.analog.com/en/analog-dialogue/articles/current-output-circuit-techniques-add-versatility.html>

Current output circuit techniques add verssality to your analog toolbox van Analog Dialgue

Algemeen verhaal

[current-output-circuit-techniques-add-versatility.pdf](#)

3 pagina's James Bryant
to Your Analog Toolbox

Fig. 3. Wilson current mirror
T4 is optional, but improves accuray and dynamic range.

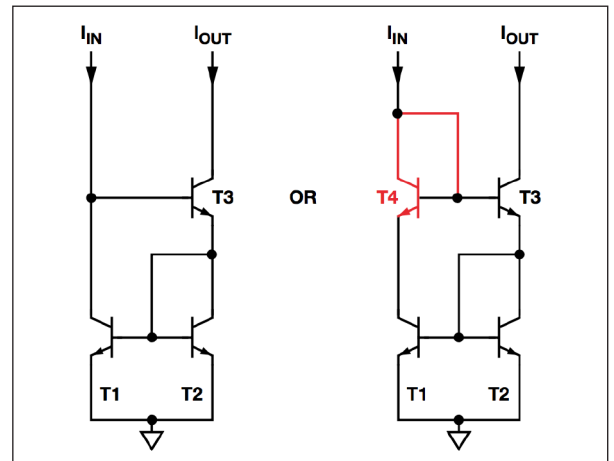
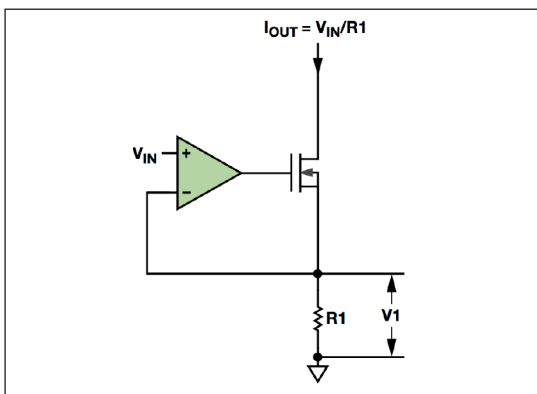


Fig. 4. Transconductance amplifier.
Voltage in-current out.



Various circuits: **basic High Current Sink**

*** LED aansturing

The high current "source" is a circuit that supplies current to the load. Unlike the current "sink" circuit, the load and the system can share a common ground. This is useful if you decide to make the chassis of your robot "ground" for everything and then you need only run a single power wire out to the high current device.

<http://www.mcmanis.com/chuck/robotics/circuits/circuits.htm>

map Various Circuits (html)

Wikiwand

**

Current limiting

Single power-supply circuits

https://www.wikiwand.com/en/Current_limiting

Paul Horowitz, Winfield Hill, The Art of Electronics Second Edition, Cambridge University Press, 1989 ISBN 0-521-37095-7, p.316

Keith H. Billings (1999). Switchmode power supply handbook. McGraw-Hill Professional. p. 1.113. ISBN 978-0-07-006719-6.

"The New Stuff!!! Constant Current Source #1". Instructables. Retrieved 4 July 2012.

<https://www.instructables.com/Circuits-for-using-High-Power-LED-s/>

High power LED driver circuits

R1: small (1/4 watt) approximately 100k-ohm resistor (such as: Yageo CFR-25JB series)

R3: large (1 watt+) current set resistor. (a good 2-watt choice is: Panasonic ERX-2SJR series)

Q2: large (TO-220 package) N-channel logic-level FET (such as: Fairchild FQP50N06L)

Q1: small (TO-92 package) NPN transistor (such as: Fairchild 2N5088BU)

Widlar current source

https://en.citizendium.org/wiki/Widlar_current_source

What is a current mirror

forum

<https://www.quora.com/What-is-current-mirror-and-what-are-its-advantages>

BJT Current mirror

<https://www.circuitlab.com/circuit/7f7ge4/bjt-current-mirror/>

simulatie / programma

<https://www.circuitlab.com/editor/#?id=7f7ge4>

2 Best current limiter circuits explained

*** LED toepassing

LM117

LM338
2N2907, TIP32C
IRF540
2N2222
TIP35
BC547
2N3054

<https://www.homemade-circuits.com/universal-high-watt-led-current-limiter/>

Power Supply Current Limiter Circuits

Current limiter techniques and circuits using diodes and transistors to provide a current limiter function for power supplies and other circuits.

Types of current limiting

https://www.electronics-notes.com/articles/analogue_circuits/power-supply-electronics/current-limiter-circuit.php

DIODES

Metingen aan diodes (LED's, IC's, MOSFETS, bipolaire transistoren) bij temperatuur wisselingen (16 pag's)

DRAFT #6 An Introduction to Diode Thermal Measurements

Dioden_Gleichrichter.pdf Onderdelen map
4 pagina's

https://thermengr.net/An_Introduction_to_Diode_Thermal_Measurements6.pdf

An_Introduction_to_Diode_Thermal_Measurements6.pdf
16 pagina's

Making Accurate Temperature Measurements with Devices with Different Ideality Factors

- 2,2 mV / °C

<https://www.analog.com/en/technical-articles/accurate-temperature-measurements-with-devices-with-different-ideality-factors.html>

Diode formules

<https://www.pveducation.org/pvcdrom/pn-junctions/diode-equation>

<https://www.electrical4u.com/diode-current-equation/>

Diodes in allerlei vormen:

<http://tuttle.merc.iastate.edu/ee201/topics/diodes/diodes.pdf>

diode modeling:

https://en.wikipedia.org/wiki/Diode_modelling

1N400x diode familie

van 1N4001 tot aan 1N4007

Fig. Expanded view area of operation for bias compensation
V-I plot.

Fig. temperatuur versus U D in mV van diodes
-1,69 mV / -1,95 mV / -2 mV/C.

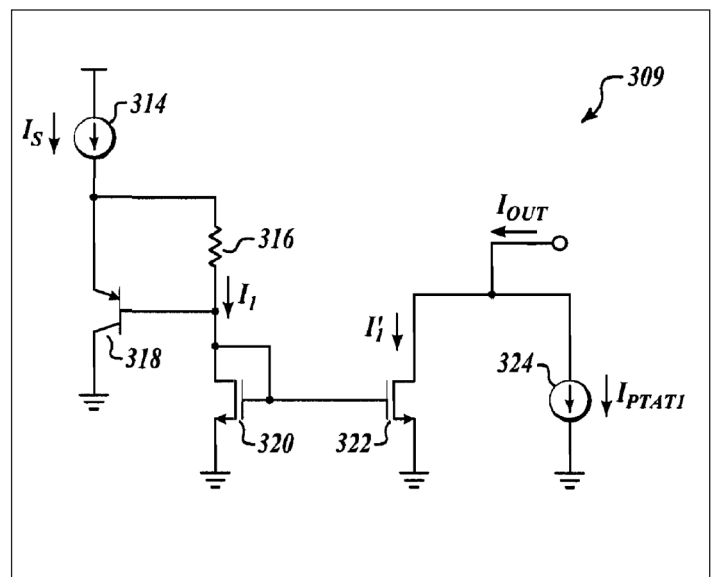
https://archive.ph/20130906112448/http://www.cliftonlaboratories.com/1n400x_diode_family_forward_voltage.htm%23Forward_Drop_versus_Temperature_and_Current

Patent ZERO TEMPERATURE COEFFICIENT (TC) CURRENT SOURCE FOR DIODE MEASUREMENT

<https://patentimages.storage.googleapis.com/5b/09/71/5cbeb756ed73d8/US7150561.pdf>

A method and circuit for reducing a temperature dependent error in p-n junction based temperature measurements. The temperature-dependent error may be caused by parasitic resistance in a p-n junction and temperature dependent variation of a bias current in a temperature sensor.

A Field of Classification Search difference in base-emitter Voltage of a sensing transistor is employed to determine a temperature of a source device. In See application file for complete search history.



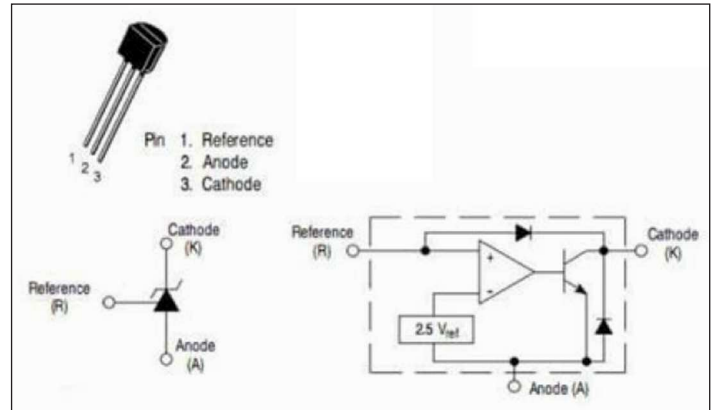
In one embodiment, a zero Temperature Coefficient (TC) current source . . .

TI473

TL431 Based current Limiter and constant programmable shunt regulator diode

TL431A programmable shunt regulator diode.

<https://dronefest.cc/product/tl431>



Stroombronnen

LM234.pdf LM serie datasheet map

ST fabrikant

LM134, LM234 en LM334

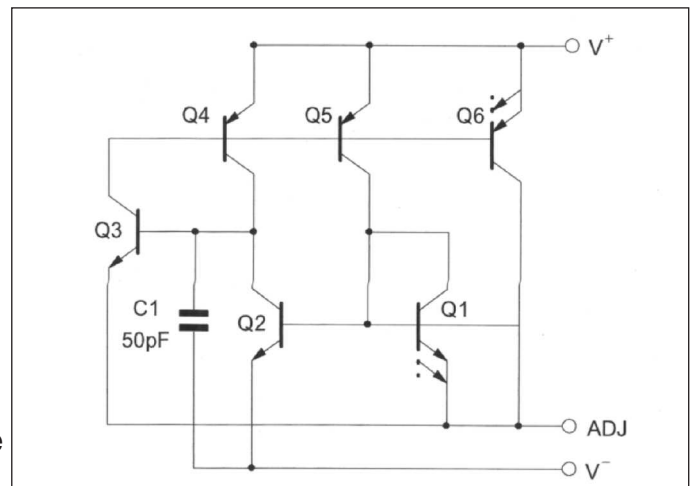
van 1 - 40 V

De stroom wordt door een externe weerstand bepaald, zonder verdere onderdelen.

Schema Fig. 1 met 6 transistorfuncties.

Toepassingen (blz. 8) met fig. 14 zero temperature coefficient current source met een 1N457

Zelfde typenummers bij National Semiconductor (TI)



Texas_Instruments-LM334Z_NOPB-datasheet.pdf

andere toepassingsschema's, waaronder een zaagtand generator met 2N222 en stroombron IC.

<https://datasheet.octopart.com/LM334Z-NOPB-Texas-Instruments-datasheet-7268433.pdf>

Constance stroombron voor kleine waardes

LM317 en 24 Volt

<https://hackaday.com/2018/11/07/junkbox-constant-current-source-helps-with-kelvin-sensing/>

Current Source

https://en.wikipedia.org/wiki/Current_source

met diverse referenties en externe links

Widlar, FET, Current mirrors, JFET, Sinks, Differential amplifiers etc.

Wilson current source

https://en.wikipedia.org/wiki/Wilson_current_mirror

Analog Design in the information age

a personal overview

Barrie Gilbert

Northwest Labs, Portland, Oregon

Analog Devices

**** 175 sheets

History, ADI's, new Tech wars, circuits, new developments

https://www.ee.bgu.ac.il/~paperno/Analog_electronics.pdf

THERE ARE TWENTY-FOUR DISTINCTLY DIFFERENT CIRCUITS THAT CAN BE DEvised
USING ONLY TWO TRANSISTORS!

BY THE TIME THREE OR FOUR TRANSISTORS ARE USED, THE NUMBER OF
COMBINATIONS BECOMES HUNDREDS.

Linear Transconductance (g_m), page 65 circuit

$g_m = I_c / V_T$, waarin $V_T = k T/q$

The heart of the BJT

page 90 met 2 formules voor tansistoren I_c en V_{BE}

simulation of 2 tanh sections, page 105.

Current Mode, Voltage Mode, or Free Mode?

A Few Sage Suggestions *BARRIE GILBERT*

19 pagina's PDF

Sources voltage and current page 86 (p. 4 PDF)

Basic analog building blocks page 88 (p. 6 PDF)

Some voltage mode aspects of current mirror page 89 (p. 7 PDF)

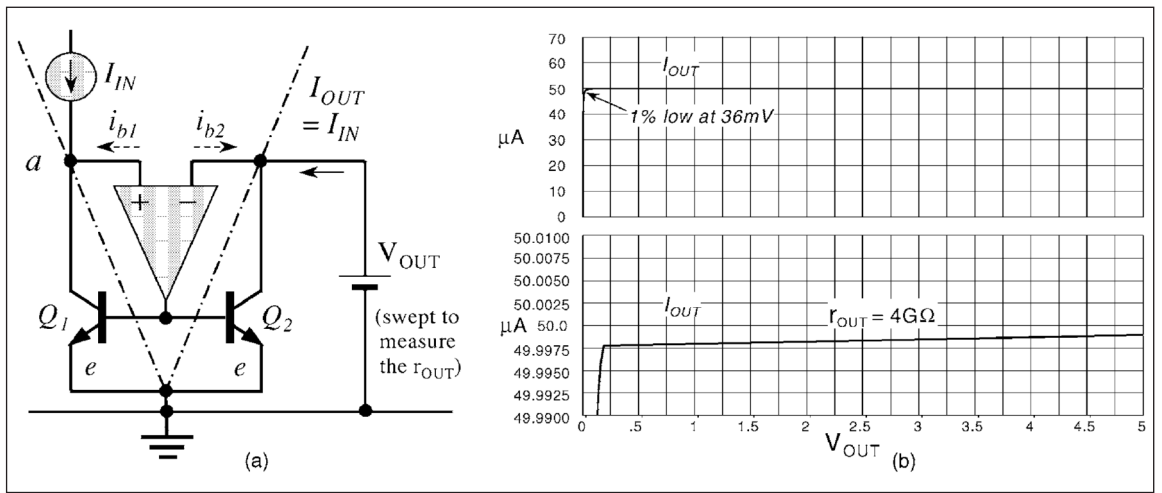


Fig. 4. The V-mirror

BJT Super mirror reflecting the free mode perspective page 89 (p. 7 PDF)
 met een uitgangsweerstand van 4 G Ohm

Fig. 7 From current mirrors to current mode multiplier page 92 (p. 10 PDF)

page 96 (p. 14 PDF)

In one realization of the form [20], the key cell shown Fig. 12(a), a voltage-controlled current-mirror, is used for tuning the filter at each basic integrator stage.

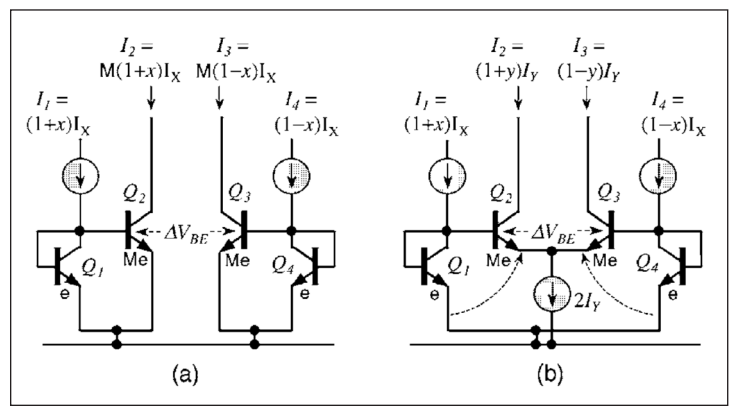
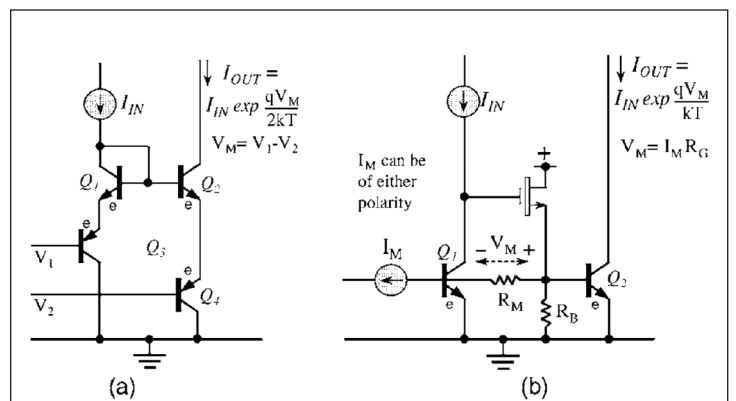


Fig. 12 Voltage- and current-controlled current mirrors.

Micro mixer, page 118

gilbert-voltagemode-currentmode.pdf

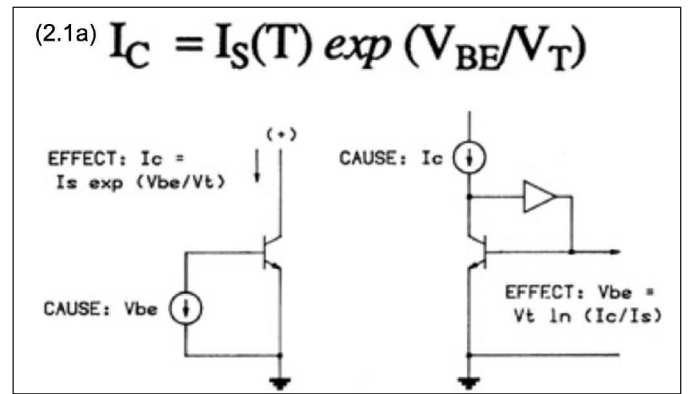


<http://cas.ee.ic.ac.uk/people/dario/files/E416/gilbert-voltagemode-currentmode.pdf>

Analogue IC Design
The Current-Mode Approach.pdf
 432 pages

Analogue IC Design : The Current-Mode Approach.pdf

Fig. 2.1 Two views of BJT Biasing (page 16)



* Fig. 2.5 A diode bridge

Diode bridge as a translinear loop (page 18)

page 36: Fig. 2.27 two basic four transistor TL forms

page 146: Fig. 6.2. Single NPN transistor

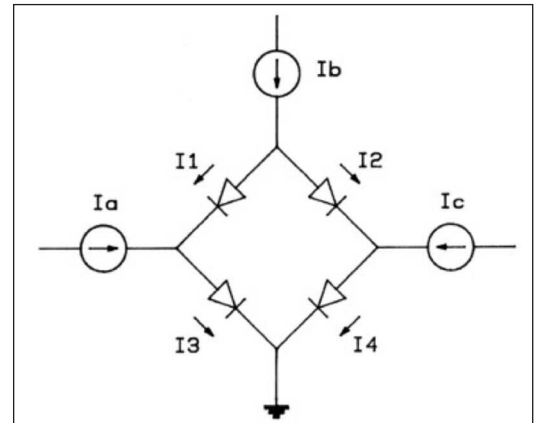


Figure 6.2: Single NPN transistor used as a rudimentary mirror

(a) usual forward active mode (b) inverse-mode (c) multiple outputs from inverse-mode transistor.

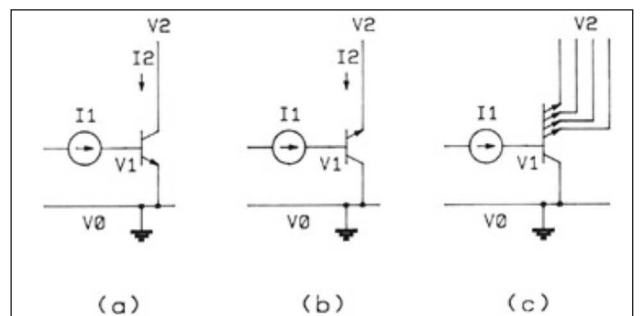


Fig. 6.7 the classical

page 149 - 153

Figure 6.7: The classical NPN current mirror (a), with the addition of emitter degeneration (b).

The simplest translinear circuit of practical interest, and we will begin here with the translinear view of this mirror. Emitter resistors, referred to as emitter degeneration, because the naturally-high gm of the devices is lowered in this way.

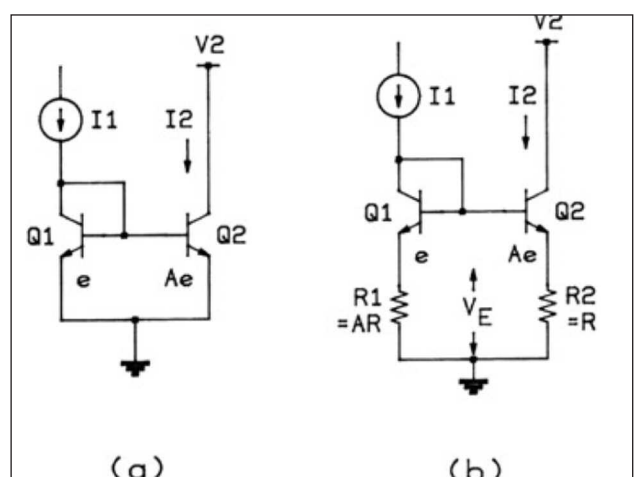
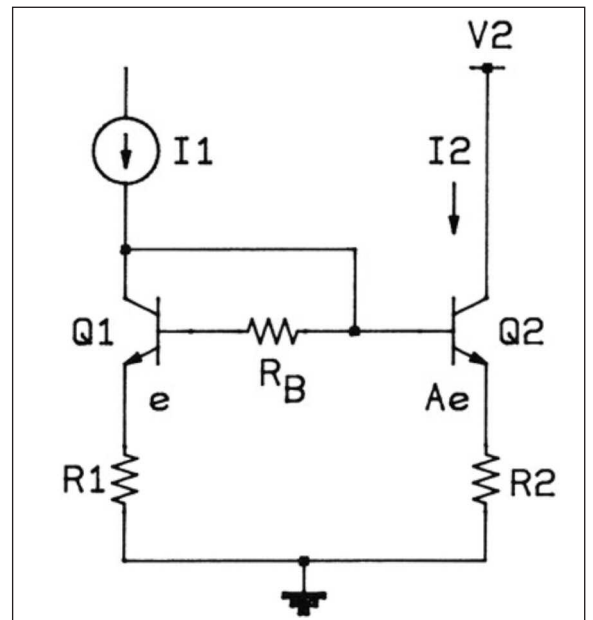


Fig. 6.10 Extra R_B (Q_1) helpt om de eindige beta van Q_2 te compenseren.

page 155 Widlar mirror
 page 158 Wilson mirror
 page 160 Wilson improvements
 page 319 Basis current copier concept, fig 14.1 met switches

<http://chiataimakro.vicp.cc:8880/%E6%8A%80%E6%9C%AF/Analogue%20IC%20Design%EF%BC%9AThe%20Current-Mode%20Approach.pdf>



Current source for photodiodes

Elektor july/august 1983 NI current source for photodiodes There are many circuits available today which use modulated light signals to transmit information.

<https://www.elektormagazine.com/magazine/elektor-198299/45129>
 geen download mogelijk.

elektor july/august 1983

96

current source for photodiodes

There are many circuits available today which use modulated light signals to transmit information. Generally, the actual receiver consists of one or more photodiodes. In such applications it is important that the dynamic range of the photodiode is sufficient. However, increasing the dynamic range can cause the sensitivity of the diode to decrease. Another disadvantage is that photodiodes are sensitive to changes in ambient light conditions. The circuit described here increases the dynamic range of the photodiode without affecting its amplification.

It also filters out the effects of slow variations in light intensity so that the problems with ambient light are greatly reduced. As the diagram shows, the circuit is very simple. When light falls on D1 this diode produces a photocurrent, relative to the intensity of the light. If the current is small, transistor T1 just conducts. When the light intensity (and thus the photocurrent) increases, the current through T1 also increases and this shorts excess current to ground. With rapid fluctuations in the light intensity falling on D1, T1 presents a high impedance (because C1 does not have time to charge). The input signal is then output directly at X. This means in

effect that the dynamic range of the diode has been increased without reducing the amplification. The signal at point Y, even though it is not directly proportional to the light intensity, can be used to examine the changes in the average light intensity falling on D1. In virtually all applications it is important that when the light is frequency modulated at 50 Hz (such as house light) this must not be seen as a modulated signal. To ensure this, C1 must be at least 1.5 μF . With this value of capacitor the change-over point from high-pass to low-pass is about 50 Hz. If, as shown in our diagram, C1 has a value of 10 μF the change-over point is about 7 Hz. ■

current source for photodiodes

Zen Variations 2
 Nelson Pass, Introduction

zen-ver2.pdf
 how to make an audio amplifier

fig. 1 the original zen constant current source
 Aleph current source

<https://www.passdiy.com/project/amplifiers/zen-variations-2>

Diff amp en tail current source

Circuit Description:

Differential amplifier using two transistors and a current source.

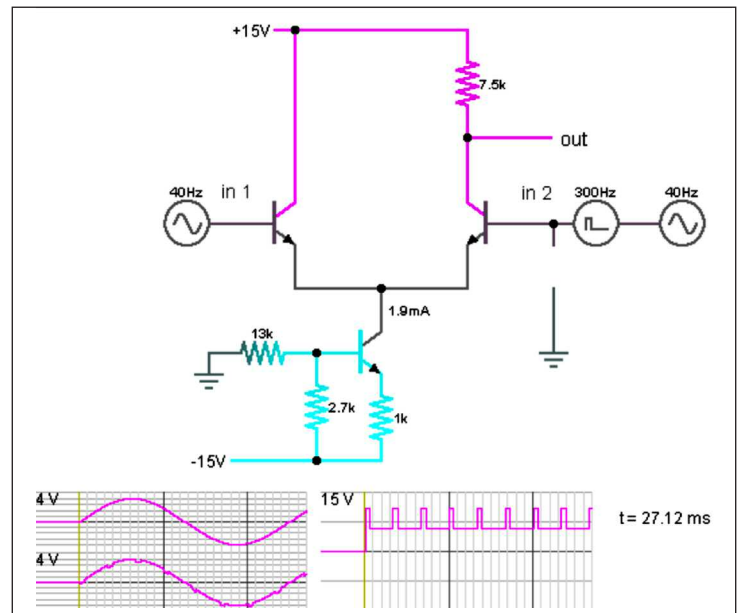
Input 1 is a 40 Hz signal, and input 2 is a 40 Hz signal with some small voltage spikes added in. (In this simulation, the two signals are added simply by connecting the two sources in series, which is convenient but not realistic.)

The output is just the voltage spikes (difference). The common-mode rejection ratio of this circuit is much better than the previous example; the 40 Hz sine wave is not visible at all in the output.

Two inputs are connected to the bases of the two transistors. Two emitters are tied together. In the differential-mode case, when input 1 rises and input 2 falls by the same amount, there is more base current through transistor 1, and less through transistor 2. Increase in collector current. Total current through the current source does not change. Reduced current through the right transistor causes the output to rise. When input 1 falls and input 2 rises, the output falls.

In the common-mode case, when input 1 and input 2 rise together, the current source resists any change in base currents. The emitter voltages rise to match the input changes. Since transistor 2's collector current hasn't changed, the output stays the same as well.

-- Credits: Mr. Paul Falstad.



<https://www.indiabix.com/electronics-circuits/differential-amplifier-common-mode-with-current-source/>

boek: Part one: Chapters 1 - 9, 604 pag's, Elsevier

Current sources & Voltage references

Print Ver. - Current_Sources_and_V_Refs.pdf

- Short history of References
- Introduction current sources
- PN junction
- BJT's for CS
- Precision matched pairs, Quads
- JFET's and CRD's
- medium power current sources MOSFETS
- power MOSFETS

- CMOS arrays
- IC current sources and mirrors
- precision current sources with Opamp and voltage references
- Intro to voltage references
- zener diode and TC
- characteristics monolithic voltage references
- review
- bibliography

blz. 14

Current sources are not a new innovation. They predate the integrated circuit by at least a couple of decades. Before their implementation in integrated circuits, they were used in vacuum tube-based circuits (triodes and pentodes). When both NPN and PNP silicon transistors became available in the 1960s, analog designers were able to build current sources that connected to either a positive or negative supply rail.

Then when the silicon bipolar IC in the 1960s, the current source had already become an integral part of the internal architecture, for the purposes of biasing and stability.

blz. 16 fig. 2.3 Diverse soorten stroombronnen

blz. 37 bij een weerstand + 100 ppm/°C en bij een diode - 2 mV / °C.

blz. 42 Vergelijk tussen diode en diode-transistor functie: fig. 3.11

blz. 69 Oude stroombron configuraties, fig. 4.16.

blz. 399 Veel voorkomende zener diodes 400 mW type nummers 1Nxxx serie

Linden T. Harrison

https://doc.xdevs.com/doc/_Metrology/Print%20Ver.%20-%20Current_Sources_and_V%20_Refs.pdf

References

AN 42 Linear technology (32 pag's)

Voltage reference Circuit collection

LT en LM series

an42.pdf

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/an42.pdf>

AN88

an-88.pdf

CMOS linear applications

<https://www.elektronik-kompodium.de/public/schaerer/FILES/an-88.pdf>

Boek

Small-signal

transistors FET's and diodes device data

Motorola

934 pag's * 1994

http://bitsavers.trailing-edge.com/components/motorola/_dataBooks/1994_Motorola_Small-Signal_Transistors_FETs_and_Diodes_Device_Data.pdf

Variaties in schema met een enkel opamp IC voor **stroom sink/source schakelingen**

<https://www.maximintegrated.com/en/design/technical-documents/app-notes/3/3869.html>

Constant current source

Science Direct

IC Solutions

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/constant-current-source>

Current Source / Sink

Voltage controlled current sink with opamp LM358

<https://circuitdigest.com/electronic-circuits/design-a-simple-constant-current-sink-circuit-using-op-amp>

The electronic Burrow

Towards a Temperature Compensated Current Source.

deel 1

http://richardschurmann.com.au/Other/Electronic_Burrow/?p=47

deel 2

http://richardschurmann.com.au/Other/Electronic_Burrow/?p=62

deel 3

http://richardschurmann.com.au/Other/Electronic_Burrow/?p=79

BC557C

Reference

Active transistor constant current source ***

The current Mirror

Analog Devices

<https://wiki.analog.com/university/courses/electronics/text/chapter-11>

TU in Delft:

The current source

DC sources

https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/DC_sources_2008_2.pdf

Voltage naar stroombron

how to convert a voltage regulator power module into a current source.

German version of this tutorial

<https://bit.ly/2C7ZhKo>

MagI³C Power Module Reference Designs

https://www.we-online.de/katalog/en/pm/REFERENCE_DESIGNS_PM

MagI³C-VDRM Variable Step Down Regulator Module in LGA-16EP Package

https://www.we-online.de/katalog/en/pm/MAGIC-VDRM#vs_ct:3

More information: <http://www.we-online.com>

Stroomverhoudingsvermenigvuldiger (1.1)

Stroomschakeltrap

Synchrone schakelaar

Spannings stroom omzetter

Stroombron met 1 transistor en ref. spanning (fig. 2.4)

PWM werking (3.1)

Diff trap met condensator (fig. 3.6)

PWM realisatie (3.3)

Referentiespanningsbron bij transistor stroombron (5.)

Bandgap (5.1.)

Stroombronnen en stroomspiegels (6.)

Literatuurlijst (blz. 70)

<https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/46749971/330478-1.pdf>

Literatuurlijst

1. Dictaat Elektronica B.O. door prof. dr. ir. J.Davidse
2. A versatile monolithic voltage-to-frequency convertor Barrie Gilbert. 'IEEEJ.SolidState Circuits vol. SC11 december 1976.
3. A wide band monolithic instrumentation amplifier Rudy J.vandePlasche IEEEJ.solidstatecircuitsvol.SC10 december 1975.
4. Evaluation of the response of time-division multiplier to AC and DC input signals Rainer Bergeest and Peter Seyfried IEEE-Transactionsoninstrumentationandmeasurementvol.1M24 december 1975.
5. Modern numerical analysis of time-division multipliers Marek M.Stabrowsky IEEE transactionsoninstrumentationand-measurementvol.1M28 maart 1979.
6. Dictaathalfgeleider elektronica 2 prof.dr.F.M.Klaassen
7. Analog Integrated circuit design Alan B. Grebene Bibliotheek THELMN72GRE8.
Ret ontwerp van een analoge vermenigvuldiger C.A.P. van Liempd afstudeerverslag 1978.9.
Ein wohl integrierter analoger multiplikator Johann S.Bach Leipzig 1688 B.W.V.1180.

Ontwerp van geïntegreerde **referentie-stroombronnen voor CMOS** chips

Christophe Van Praet, Jindrich Windels

Refereren aan voedingsspanning:

Widlar stroombron

2.2.1 blz. 6. Bibliografie blz. 79 ev.

https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/001/312/515/RUG01-001312515_2010_0001_AC.pdf

FET Current Source

N-channel JFET

The 2N36xx or the 2N43xx n-channel JFET series is only a few mill-amperes, whereas the larger n-channel J1xx or PN4xxx series can be several ten's of mA's.

A JFET can be biased to operate as a constant current source device at any current value below its saturation current, I_{DSS} when V_{GS} equals zero volts.

<https://www.electronics-tutorials.ws/transistor/fet-current-source.html>

The Howland current pump

Dr. Serio Franco

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/the-howland-current-pump/>

Texas Instruments

AN-1515 A Comprehensive Study of the Howland Current Pump

<https://www.ti.com/lit/an/snoa474a/snoa474a.pdf>

17 pages

snoa474a.pdf

Learn Analog Circuits

Types and Applications of Current Mirrors

Dr. Sergio Franco

BJT

Basic current Mirror

Early effect

Beta helper

Widlar

Wilson

At work in OPAMPS

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/learn-analog-circuits-introduction-to-current-mirrors-types-applications/>

$$V_{BE} = V_T \ln(I_C / I_S)$$

BJT operation, then it explored four types of BJT current mirrors: the basic mirror, the mirror with beta helper, the Widlar current source, and the Wilson mirror. In the final section, we saw some examples of how current mirrors are incorporated into analog integrated circuits.

Current mirrors can also be implemented using CMOS technology. AAC's article entitled The Basic MOSFET Constant-Current Source is a good place to start if you want to learn about the CMOS version of the current mirror.

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/the-basic-mosfet-constant-current-source/>

Sergio Franco, San Francisco State University

Overview book

<http://online.sfsu.edu/sfranco/BookAnalog/AnalogJacket.pdf>

AnalogJacket.pdf

4 pages intro

Analog Circuit Design

Discrete & Integrated

<https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/the-basic-mosfet-constant-current-source/>

Sergio Franco

San Francisco State University, McGraw-Hill Education

ISBN: 978-0078028199 Hardcover / 861 pages

website books:

<http://www.mhhe.com/franco>

Bol: euro 58,49 uit mei 2014, andere cover

Meet constant current source circuits ideas for you

1. BF256 (gate + source) LED display
2. Constant current circuit using LED
3. 7805 current constant circuit
4. Precision LED regulator LM337T
5. Stabilised current battery charger
6. The save constant source ICL7611, IRF9520, ICL8069
7. Precision current sink circuit LM101, 2N5457 ujt, 2N222.

<https://www.eleccircuit.com/many-constant-current-source-circuits/>

What is current source?

ideal

independent

symbolic representation

serie and parallel

voltage controlled

current controlled

<https://www.electrical4u.net/electrical-basic/what-is-current-source/>