

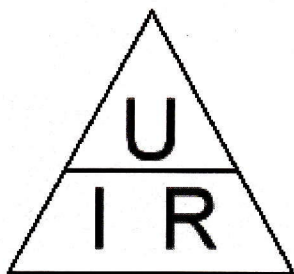
De wet van Ohm...



Nee, deze workshop leert je niet hoe je een Minimoog nabouwt, maar hoe je een experimenteel systeem opzet. Bijvoorbeeld als input voor het filter van je Monotron, als uitbreidingsmodule voor je analoge synth of als gehoorzaam slaafje van je digitale synth. Je leert hier oscillatoren bouwen, lfo's, preamp, overdrive/distortion/fuzz, filters, sequencer, frequency divider, input devices en nog veel meer. De modules kunnen worden gecombineerd tot een patchable modulair systeem.

door Ernst Bonis > ernst@interface.nl

De wet van Ohm is dé basiswet waarmee talloze zaken op gebied van elektriciteit en elektronica, zoals impedantie, kunnen worden verklaard. Voor een goed begrip van de volgende afleveringen kunnen we er dan ook niet omheen. Daarnaast maken we kennis met het CD4049 ic dat zes identieke omkerende bufferschakelingen herbergt, ofwel in jargon 'hex inverting buffers'. Door een feedbackweerstand van uit- naar ingang tover je deze van huis uit digitale bouwsteen zomaar om in een analoge versterker.



de wet van Ohm

$$I = U/R \quad U = I \cdot R \quad R = U/I$$

Georg Simon Ohm (1787-1854) benaderde het natuurkundige verschijnsel elektriciteit vanuit een wiskundige invalshoek. Deze benadering bracht Ohm op het spoor van het precieze verband tussen elektrische spanning, weerstand en stroomsterkte. Hij beschreef de genoemde relatie als volgt: *de elektrische spanning over een weerstand is gelijk aan de stroomsterkte door die weerstand vermenigvuldigd met de grootte van die weerstand.*

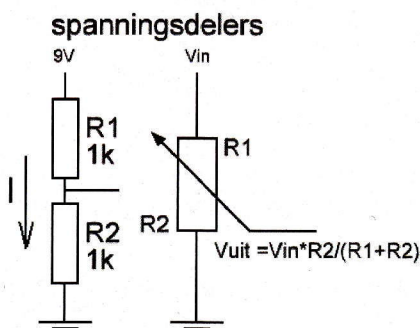
In formulevorm: $U=IR$. De wet van Ohm kan ook worden geschreven als:

$I=U/R$ en als $R=U/I$. Het belang van Ohm's ontdekking werd al direct op waarde geschat in de VS. In eigen land, Duitsland, duurde dat nog zo'n twintig jaar.

De eenheid van weerstand (R) wordt uitgedrukt in ohm (Ω) (ter ere van, uiteraard). De elektrische spanning (U) wordt uitgedrukt in de eenheid volt (V), als eerbetoon aan Alessandro Volta, de Italiaanse ontdekker van de batterij. De stroomsterkte (I) uitgedrukt in ampère (A) is vernoemd naar de Fransman André-Marie Ampère, een van de ontdekkers van het elektromagnetisme.

In de afbeelding is deze wet weergegeven in een driehoek als ezelsbrug. Wil je weten wat het voltage U is, dan dek je vervolgens in de driehoek U af, en je ziet eronder de uitkomst: IR , I vermenigvuldigd met R. Evenzo door I en R af te dekken vind je respectievelijk de uitkomsten U/R en U/I .

In de vorige aflevering hebben we al kennisgemaakt met de spanningsdeler als volumeregelaar aan de uitgang van de relaxatie-oscillator. We gaan er nu wat dieper op in aan de hand van het concrete voorbeeld links in de afbeelding met als gereedschap de wet van Ohm. We zien een elektrische spanningsbron van

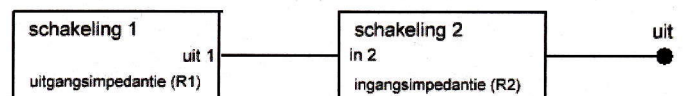


9V aangesloten op twee weerstanden van 1000 ohm die in serie staan. Omdat ze in serie zijn geschakeld, wordt de totale weerstand de optelsom van beide waarden: 2000 ohm dus. Volgens de wet van Ohm kunnen we nu eenvoudig de stroomsterkte vinden volgens de formule $I=U/R$, ofwel $I=9/2000=0,0045A$. De spanningsval over de eerste weerstand, op het knooppunt van beide weerstanden, vinden we met de volgende formulevariant van de wet: $U=IR$, ofwel concreet $U=0,0045 \cdot 1000=4,5V$.

Zo'n spanningsdeler komt goed van pas om het uitgangssignaal van de oscillatoren in de schema's terug te brengen naar lijnniveau. De pulsuitgangen schakelen tussen 0 en 9V. De ingangsgevoeligheid van lijnniveau ligt echter tussen de 100 en 500 millivolt. Een spanningsdeler met als weerstanden 22k en 1,5k brengt het signaalniveau terug naar ca 0,5V

In de rechterafbeelding zien we een potentiometer die aan een kant is aangesloten op een zeker voltage. Het andere einde van de potmeter ligt aan aarde. De looper verdeelt de totale weerstand als het ware in twee continu variabele weerstanden R1 en R2. Deze potmeter is dus niets anders dan een variabele spanningsdeler. De verhoudingen van de twee weerstandswaarden bepalen het uitgangsvoltage op de looper als volgt: $V_{uit} = V_{in} R2 / (R1 + R2)$. In woorden: de uitgangsspanning is gelijk aan de ingangsspanning vermenigvuldigd met de weerstand van R2 gedeeld door de som van weerstand R1 en weerstand R2.

koppeling en impedantie

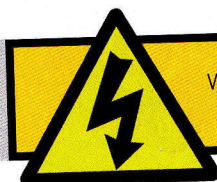


In de elektriciteit en elektronica wordt het begrip impedantie gebruikt om er de *complexe weerstand* mee aan te duiden. Complex betekent hier dat het niet een schakeling betreft met uitsluitend weerstanden, maar een uitgebreider circuit waar ook tijdafhankelijke componenten van deel uitmaken. Met één zo'n tijdafhankelijke component maakten we al kennis: de condensator. Maar ook een spoel en een transformator behoren hiertoe. Al met al betekent het dat de inwendige weerstand van zo'n complexe schakeling frequentieafhankelijk is. Impedantie stelt zo de *wisselstroomweerstand* voor. Voor het gemak beschouwen we de impedantie maar simpel als de weerstandswaarde, zoals bij spanningsdelers.

Vuistregel

Terug naar de spanningsdelerformule. Hieruit blijkt dat de spanningsval (het voltageverlies) door het aansluiten van de uitgang van een schakeling op de ingang van een andere module of schakeling een spanningsvermindering tot gevolg heeft als gegeven door de formule $R2/(R1+R2)$. R1 staat nu voor de uitgangsimpedantie (source impedance) van de ene schakeling en R2 wordt gevormd door de ingangsimpedantie (load impedance) van de aangesloten schakeling. Uit het bovenstaande rekenvoorbeeld in afbeelding *Spanningsdelers* wordt duidelijk dat als beide schake-

Art of Noise is een workshop over het zelf bouwen van een modulaire synthesizer-systeem, standalone en/of als uitbreiding van je synth. Daarbij proberen we het zo simpel mogelijk te houden, maar leer je wel iets te bouwen dat nuttig en leerzaam is.



Voor je eigen veiligheid: werk alléén met batterijen, nooit met een netvoeding of netvoedingadapter!

lingen, modules of apparaten eenzelfde waarde hebben voor zowel ingangs- als uitgangsimpedantie er een spanningsverlies optreedt van 50%.

In de meeste gevallen wil je dat niet. De oplossing: *uitgangen* met een *lage* impedantie en *ingangen* met een *hoge* impedantie. Een vuistregel voor de minimale belastingsimpedantie zegt dat die minstens tien maal zo groot moet zijn als de betreffende uitgangsimpedantie; zoals ook blijkt uit het volgende voorbeeld.

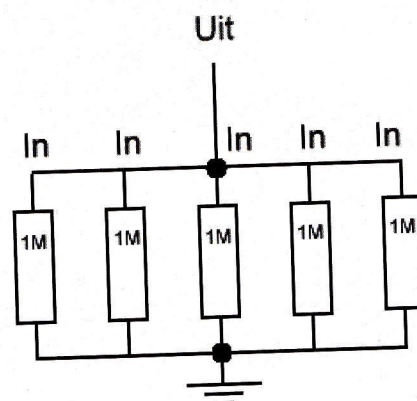


In de documentatie van m'n Boss AW-3 Dynamic Wah staat: *Input Impedance 1M*, *Output Impedance 1k* en *Recommended Load Impedance 10k or greater*. Dat betekent dus dat de ingangsweerstand van het pedaal 1 miljoen ohm bedraagt, de uitgangsweerstand 1000 ohm en dat de aanbevolen belastingsweerstand (dat is de ingangsweerstand, de impedantie van de volgende schakeling) 10.000 ohm moet zijn of meer. Sluit ik nu m'n MT-2 Metal Zone distortionpedaal aan op m'n AW-3, dan geeft dat een signaal aan de ingang van de AW-3 van: $1000.000 / (10.000 + 1000.000) = 0,9901$. Een dergelijke superkleine verzwakking kunnen we best verwaarlozen. Zelfs bij de aanbevolen minimale belastingsimpedantie van 10.000 ohm blijft er nog voldoende signaal over: 91%. Het aangesloten pedaal, de MT-2, vormt zo geen enkele belasting voor de AW-3. De Dynamic Wah heeft er zagezegd geen weet van dat hij de Metal Zone voedt, en er is zodoende dan ook geen belastende invloed op de uitgang van de AW-3.

Ook bij het aansluiten van één pedaal op meerdere andere stompboxen is er nauwelijks enige belasting. De tegelijkertijd aangesloten andere pedaaljes staan parallel, en daarom dus ook hun ingangsimpedanties. Laten we eens aannemen dat we één uitgang patchen naar vijf verschillende ingangen. De totale belasting (R_t) die het aangesloten uitgangssignaal 'ziet', vinden we via de volgende formule: $1/R_t = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 + 1/R_5 > 1/1000000 + 1/1000000 + 1/1000000 + 1/1000000 + 1/1000000 = 5/1000000 > 1/R_t = 5/1000000 > 5R_t = 1000000 > R_t = 1000000/5 = 200000$. (R_1 tot en met R_5 zijn de ingangsimpedanties van de vijf parallel aangesloten pedaaljes.) De totale ingangs-

impedantie is nu dus 200k. Dat is 200 maal hoger dan de uitgangsimpedantie van de bron, het uitgesplitste pedaalje. De belasting van het signaal is dus praktisch te verwaarlozen.

parallele weerstanden

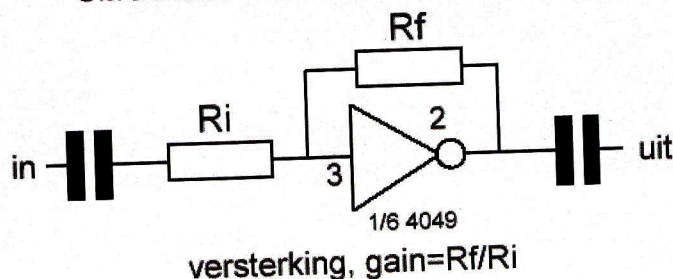


Ook zonder gebruikmaking van voorgaande formule voor het berekenen van parallele weerstanden kunnen we aan de hand van de wet van Ohm eenvoudig de totale ingangsimpedantie, de vervangingsimpedantie, van de vijf parallele pedaaljes bepalen. De vijf parallel aangesloten weerstanden in het schema stellen de ingangsimpedanties van de vijf pedaaljes voor.

Die bedragen elk 1M, ofwel 1 miljoen ohm. De totale stroom wordt zo verdeeld over vijf gelijke weerstanden. De vervangende weerstandswaarde komt dan op 1000.000 gedeeld door 5, is gelijk aan 200.000 ohm.

Redenerend volgens de wet van Ohm kunnen we ook de vervangingswaarde bepalen. Stel dat we vijf schakelingen parallel hebben aangesloten met ieder een verschillende ingangsimpedantie van respectievelijk, 1M, 500k, 200k, 200k en 100k. Door elk van die weerstanden vloeit een stroom volgens de formule van: $I = U/R$: voor R_1 $9/1000000 = 0,000009A$, voor R_2 $9/500000 = 0,000018A$, voor R_3 en R_4 $9/200000 = 0,000045A$ en voor R_5 $9/100000 = 0,00009A$. De totale stroom is nu de optelsom van de vijf stromen door de diverse weerstanden: 0,000207A. Volgens $R = U/I$ berekenen we dan de vervangingsimpedantie: $R = 9/0,000207 = 43478,26$ ohm.

CMOS inverter als analoge versterker

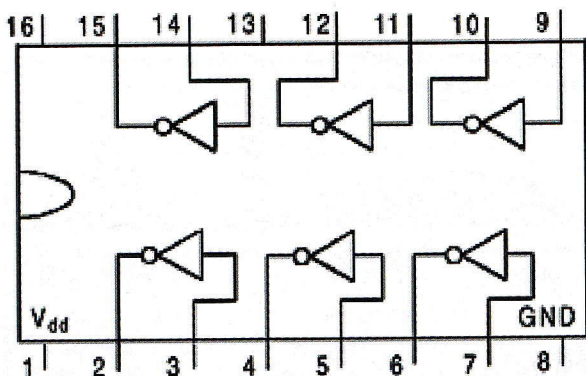


Nu we door middel van een spanningsdeler elke gewenste verzwakking kunnen realiseren, zou het ook wel van pas komen als we een gewenste versterking kunnen bewerkstelligen. Daartoe gaan we het ic 4049 inzetten.

Dat lijkt misschien in eerste instantie vreemd, omdat het hier gaat om een geïntegreerde schakeling die zes identieke digitale inverters herbergt, anders gezegd zes niet-schakelingen (of op z'n Engels zes not-gates) bevat. Zo'n not-gate produceert aan z'n uitgang de logische omkering van het ingangsniveau. Nul volt aan de ingang en de uitgang geeft de waarde van de voedingsspanning. En dus

>> geeft de voedingsspanning aan de ingang 0V aan de uitgang. Ofwel een logische 1 wordt een logische 0 en omgekeerd.

Door een truc kan zo'n digitale inverter worden omgetoverd in een analoge schakeling. Die tovertruc behelst *tegenkoppeling*. Door de uitgang van de schakeling via een weerstand terug te voeren naar de ingang, regelt het circuit de ingangsspanning af op de helft van de voedingsspanning. Dit is nu als het ware een virtueel nulniveau geworden. Vanuit dit rustniveau, kan het uitgangssignaal alle waarden



aannemen tussen 0V en de voedingsspanning. Behalve de tegenkoppelweerstand R_f zien we ook nog een ingangswaarde R_i . De verhouding tussen de twee weerstandswaarden bepaalt theoretisch de versterking volgens de betrekking R_f/R_i . Praktisch klopt dat aardig, tenminste voor niet al te grote versterkingsfactoren. De versterking is niet ideaal, zeker geen hifi, en brengt met toenemende waarde eveneens toenemende vervorming met zich mee. (Ach, daar zijn muzikanten vaak heel blij mee. Op basis van dit ic zijn dan ook een aantal overdrive- en fuzz-schakelingen ontworpen.)

Omdat de *verhouding* tussen R_f en R_i de versterking bepaalt, kunnen we zo met verschillende weerstandparen eenzelfde versterking realiseren. Bijvoorbeeld een driemaal versterking: $R_i=10k$ en $R_f=30k$, maar ook met $R_i=200k$ en $R_f=600k$. Welke weerstanden moet je nu kiezen kun je je afvragen, juist omdat het resultaat hetzelfde is. Omdat de ingang vanwege de tegenkoppeling als het ware een virtueel nulniveau is, bepaalt de ingangswaarde R_i de *ingangsimpedantie*. Dat we die op deze manier kunnen bepalen is zo nu en dan van groot belang, zoals we later nog zullen zien.

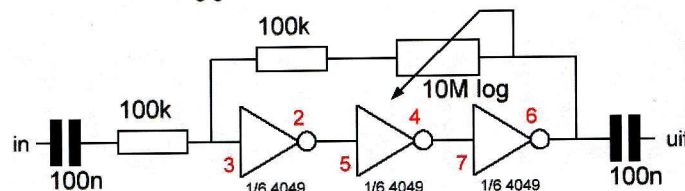
Condensator als DC block

Aan de ingang en uitgang van de als analoge versterker geschakelde inverter zien we een condensator. De condensator fungeert hier als DC block, in goed Nederlands: gelijkspanningsblokkade. Een condensator in serie met het signaal laat alléén wisselstroom door. Met de ingangsimpedantie van de aangesloten schakeling die erop volgt, vormt hij eigenlijk een hoogdoorlaatfilter. Maar daarover meer in de Art of Noise 4.

Meerdere inverterversterkers kunnen op verschillende manieren worden gecombineerd om een grotere versterking te verkrijgen, of om de output power te vergroten. In de afbeelding *Regelbare versterker-vervormer* zien we drie inverters in serie

regelbare versterker/vervormer

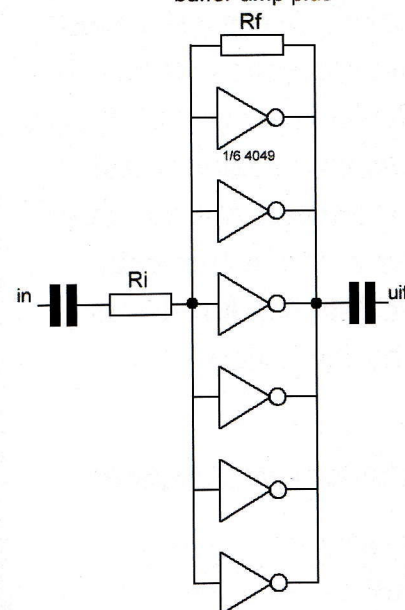
versterking/gain: 1 - 100



geschakeld. Elk oneven aantal groter dan 1 kan zo worden gecombineerd. Het aantal moet uiteraard oneven zijn, omdat de negatieve terugkoppeling, de tegenkoppeling een voorwaarde is voor de analoge werking. Zo'n versterkerschakeling kan worden benut om de lijnuitgang van een synthesizer-uitgang te versterken om bijvoorbeeld een oscillator te synchroniseren, zoals aangegeven in de vorige aflevering.

Afbeelding *Buffer-amp plus* toont een parallelschakeling van zes inverterversterkers, om aldus meer uitgangsvermogen te verkrijgen. Op deze manier kan zelfs een klein speakertje worden aangestuurd.

buffer-amp plus



Let op

In alle schema's zijn de aansluitingen voor de voedingsspanning vanwege de vanzelfsprekendheid niet aangegeven.

Voor definitieve schakelingen altijd alle niet-gebruikte ingangen aan de + of aan massa leggen.

Wil je de versterkers niet altijd in gebruik hebben, maar wil je ze wel kunnen patchen, leg dan de ingangen via een 100k weerstand aan aarde. Op het moment dat je er een signaal op aansluit, wordt de weerstand *overruled*. ■

Literatuur

- Nicolas Collins - *Handmade Electronic Music* (2nd edition)
- Don Lancaster - *CMOS Cookbook* (2nd edition)

Internetlinks

- http://nl.wikipedia.org/wiki/Georg_Ohm
- www.sdiy.org/pinky/vosim/vosim.html
- www.variophon.de

Online elektronica winkels

- www.budgetronics.com
- www.conrad.nl
- www.deradiobeurs.nl/webwinkel
- www.muco.nl
- www.newtone-online.nl
- www.rotor.eu

advertentie

Eye4 Systems AV Station Core i7 Hexacore

“Waanzinig werkpaard”

your interface for making muzique

i4-MUZIQUE.NL

“Top Windows Audio PC”

- Interface nr. 150



