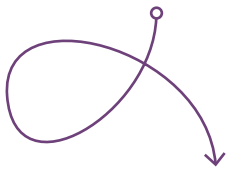


Logaritmische potentiometers

ze zijn exponentieel!



Joseph Kreutz (Duitsland)

Als je aan een volumeregelaar op een versterker of mengtafel draait, wil je idealiter dat er een lineair verband is tussen de verdraaiing van de regelaar en de geluidssterkte die je oor waarneemt. Een resultaat dat dit ideaal benadert wordt verkregen met 'logaritmische' potentiometers, die eigenlijk exponentieel zijn. Laten we hier eens wat dieper op ingaan.

De natuur heeft ons gebouwd om akoestische signalen waar te nemen waarvan de amplitude varieert in een bereik van 1 op 1.000.000 en meer, wat wordt weergegeven door een verhouding van 120 dB of meer. De zogenaamde wet van Weber-Fechner specificeert

$$\text{sensatie} = k \cdot \log(\text{fysieke stimulus})$$

Hier is sensatie de indruk die we waarnemen en fysieke stimulus de akoestische druk op onze oren [1]. De k-factor is specifiek voor ieder van ons omdat onze gehoorkenmerken net zo uniek zijn als haar- of oogkleur. Je gehoorgevoeligheid hangt af van de frequentie, de effectieve amplitude van de audiostimulatie en van je leeftijd, omdat het gehoor slechter wordt naarmate je ouder wordt.

De ondergrens van het menselijk gehoor is gemeten bij een geluidsdruk-niveau van 20 μPa , dat is vastgelegd als de 0 dB-waarde op de geluidsdruk-schaal, uitgedrukt in decibel. Het is ook nuttig om te weten dat een geluidsniveau van 130 dB fysieke pijn begint te veroorzaken. Regelmatige blootstelling aan geluidsniveaus boven de 100 dB kan permanente gehoorschade veroorzaken.

De ideale volumeregelaar

Om ervoor te zorgen dat de sensatie zo evenredig mogelijk is met de positie (verdraaiing of verschuiving) van de regelaar, moet het verloop dat door een potentiometer wordt gerespecteerd een logaritmische functie hebben. Een exponentieel verloop benadert deze eis het beste. We kunnen een parameter definiëren om de positie van een potentiometer weer te geven:

$$\alpha = \frac{\text{Effective Rotation}}{\text{Maximum Rotation}} = \frac{\text{Effective Translation}}{\text{Maximum Translation}} \quad (1)$$

Aangezien deze regeling een minimum (in principe 0) en een maximum (in principe 1) heeft, volgt hieruit dat $0 \leq \alpha \leq 1$. De ideale potentiometer moet dus een karakteristiek hebben die overeenkomt met

$$S = S_{\text{ref}} \cdot 10^{\alpha \cdot F_p} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{5\alpha}$$

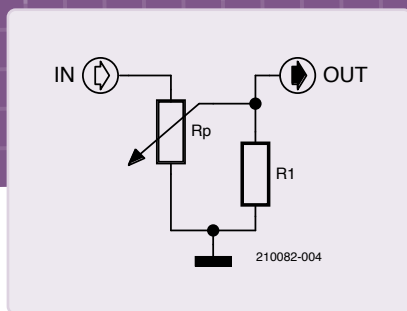
S_{ref} is de ondergrens van de gevoeligheid van het menselijk oor, dus 20 μPa , en F_p is een parameter die is berekend voor een maximaal volume op ongeveer 100 dB boven de ondergrens. Referentie [2] beveelt een regelbereik van 90 dB aan voor een audio-volumeregelaar, dus een waarde die hier dicht bij ligt.

Potentiometers in de echte wereld

De constructie van een ideale potentiometer, eentje die precies exponentieel is, zou mogelijk kunnen zijn, maar de technische complexiteit zou het tot een dure component maken. Fabrikanten hebben deze moeilijkheden overwonnen door weerstandsbanen te maken met twee of drie secties met een verschillende weerstand om zo met lineaire segmenten een exponentiële functie te benaderen. Dit compromis wordt bevredigend geacht voor de meeste toepassingen.

Lineaire potentiometer belast met een weerstand

Een andere manier om een exponentieel gedrag te benaderen is door een lineaire potentiometer te belasten met een weerstand tussen de looper en massa, zoals geïllustreerd in **figuur 1**. De aldus verkregen respons wordt gekarakteriseerd door de volgende functie:



Figuur 1. Door een weerstand toe te voegen aan een lineaire potentiometer, zoals hier getoond, is het mogelijk om een exponentiële respons te benaderen.

$$V_{OUT} / V_{IN} = \alpha \cdot \gamma / (\alpha \cdot (1-\alpha) + \gamma) \quad (II)$$

Hier vertegenwoordigt α de draaiing of verschuiving van het bedieningselement gedefinieerd door (II) en γ de verhouding tussen belastingsweerstand R_1 en de totale weerstand van potentiometer R_p . Als bijvoorbeeld $R_p = 1 \text{ M}\Omega$ en $R_1 = 39 \text{ k}\Omega$, dan is $\gamma = R_1 / R_p = 0,039$.

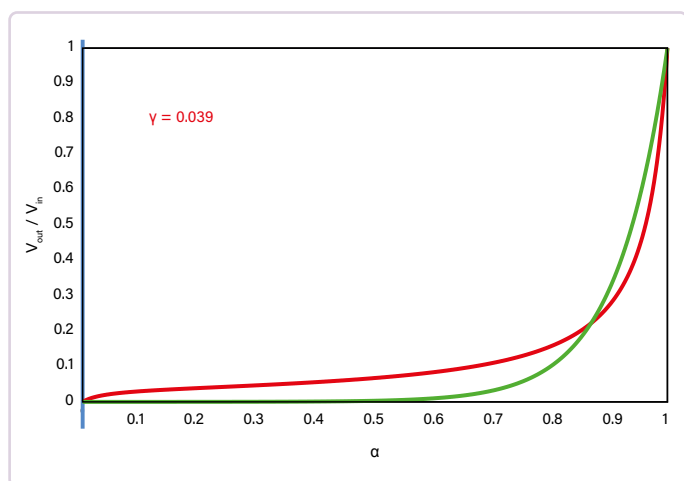
De grafieken in **figuur 2** stellen de ideale exponentiële functie voor (groen), en de functie die wordt verkregen met een γ -waarde van 0,039 (rood). Deze keuze van γ en de bijbehorende weerstandswaarden geven resultaten die de exponentiële functie het dichtst benaderen. Er is echter een discrepantie tussen de ideale curve en deze benadering, die verschijnt bij zeer lage niveaus, en de damping vertoont een kleine maar abrupte sprong aan het begin van de curve. Daarom wordt deze oplossing niet aanbevolen voor de volumeregeling van hifi-apparatuur [2].

Rekening houdend met de parameters gedefinieerd in vergelijkingen I en II, zal de belastingweerstand R_L (α), zoals gezien door de trap die voorafgaat aan de combinatie van R_1 en potentiometer, als volgt zijn:

$$R_L(\alpha) = R_p - \alpha - (1-\alpha) + \gamma / (\alpha + \gamma)$$

De waarden zijn respectievelijk gelijk aan R_p voor $\alpha = 0$ en $R_p // R_1$ voor $\alpha = 1$. Deze vergelijking veronderstelt dat de impedantie van de trap die volgt op de volumeregelaar hoog genoeg is om slechts een verwaarloosbaar effect te hebben. De trap die voorafgaat aan de volumeregelaar moet de volumeregelaar kunnen voeden.

Merk ook op dat de totale waarde van de weerstand R_p van een potentiometer over het algemeen wordt gespecificeerd met een tolerantie van $\pm 20\%$, waardoor het een van de onderdelen met de hoogste toleranties is.



Figuur 2. De ideale exponentiële curve (groen) en de werkelijke curve verkregen met een γ -waarde van 0,039 (rood). Deze waarde van γ geeft de resultaten die het dichtst in de buurt komen van een exponentiële functie.

Thermische ruis

Een ideale weerstand produceert een thermische ruis spanning die gelijk is aan

$$e_n = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B} \quad (III)$$

waarbij $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (constante van Boltzmann), T de temperatuur in kelvin (hier 298,15 K zijnde 25 °C), R de weerstandswaarde in ohm en B de frequentiebandbreedte (hier 20 kHz) waarbij de meting wordt gedaan.

De serieweerstand die een potentiometer in de schakeling van figuur 1 introduceert, draagt maximaal een kwart bij van de totale waarde ($\alpha \cdot (1-\alpha) \cdot R_p$ met $\alpha = 0,5$), dus 250 k Ω als $R_p = 1 \text{ M}\Omega$, en voor de bijbehorende ruis spanning geldt

$$e_n = \sqrt{4 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 298,15 \cdot 250.000 \cdot 2 \cdot 10^4} \approx 9,07 \mu\text{V}$$

De maximale ruis spanning wordt verzwakt door de verdeler die bestaat uit de serieweerstand van de potentiometer en R_1 (39 k Ω). De bijdrage wordt zo gereduceerd tot 1,22 μV .

Er moet ook rekening worden gehouden met de ruis die wordt gegenereerd door de weerstand van 39 k Ω . Deze bedraagt maximaal 3,58 μV voor een temperatuur van 25 °C en een bandbreedte van 20 kHz. De bijdrage aan de totale ruis is 3,1 μV . De maximale thermische ruis is dus

$$e_{n,\text{max}} = 3,1 \cdot 10^{-6} + 1,22 \cdot 10^{-6} = 4,32 \mu\text{V}$$

Dit is een verbetering van 6,4 dB ten opzichte van een potentiometer alleen.

In de meeste commerciële potentiometers is de weerstandsbahn gemaakt van koolstof, waardoor het ruisniveau hoger is dan dat berekend met vergelijking III. Sommige fabrikanten bieden potentiometers aan met een kunststof of 'cermet'-weerstandsbahn, een combinatie van metaal en keramiek. Deze zijn niet zo kwetsbaar in het gebruik en geven over het algemeen een lagere ruis spanning dan potentiometers van koolstof. Natuurlijk is het beter om een component met weinig ruis te kiezen voor R_1 , bijvoorbeeld een metaalfilmweerstand. Een algemene conclusie uit het voorgaande is dat in de elektronica de weerstanden in de schakeling van de laagst mogelijke waarde moeten hebben om thermische ruis te vermijden.

Vergelijking van de oplossingen

De moeilijkheden bij het construeren van een potentiometer met een exponentiële karakteristiek zijn overwonnen door de twee bovenstaande methoden. Welke is beter?

In het geval van een volumeregelaar voor consumentenapparatuur biedt de benadering door lineaire segmenten die fabrikanten aanbie-

den in hun zogenaamde 'logaritmische' potentiometers een perfect aanvaardbare oplossing omdat de demping bij lage niveaus redelijk dicht bij een ideale exponentiële waarde ligt en 'zacht' naar een effectieve nulwaarde neigt. Raadpleeg hiervoor de karakteristieke curves van de fabrikanten.

Voor een volumeregelaar voor gebruik in een mengpaneel of aan de ingang van een versterker is een lineaire potentiometer met een weerstand voldoende. Ook al vertoont de regelaar wat afwijkingen bij lage niveaus, het gebruik van een weerstand met een lineaire potentiometer zorgt ook voor een aanzienlijke vermindering van het niveau van thermische ruis. Dit is een belangrijk voordeel in veel toepassingen, vooral voor professionele apparatuur. ◀

210082-03

WEBLINKS

[1] Contour van gelijke luidheid: https://en.wikipedia.org/wiki/Equal-loudness_contour

[2] D. Self, "Small Signal Audio Design (2nd Edition)," Routledge, 2014: <http://www.elektor.nl/18046>



Gerelateerde producten

- > Douglas Self, **Small Signal Audio Design (2nd Edition)**, Routledge, 2014
www.elektor.nl/18046
- > Elektor Fortissimo-100 Power Amplifier Kit
www.elektor.nl/20273



LIGT JOUW PASSIE IN DE TECHNIEK?

Gaming Support is op zoek naar een Repair Engineer en Field Engineers.

Houd je van het oplossen van storingen of defecten aan onderdelen van onder andere speelautomaten op component niveau, dan zoeken we jou.

Interesse?

Solliciteer dan vandaag nog!

Stuur een e-mail naar: hr@gamingsupport.com of bel 010-5241153.

Meer informatie vind je op onze website.



**GAMING
SUPPORT**

gamingsupport.com