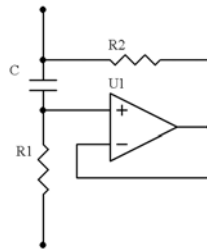


### 1.1.1 Oplissing met gyratoren

Een mogelijke oplossing verkrijgen we door het gebruik van gyratoren. In de volgende figuur zien we het basisschema van een gyrator.

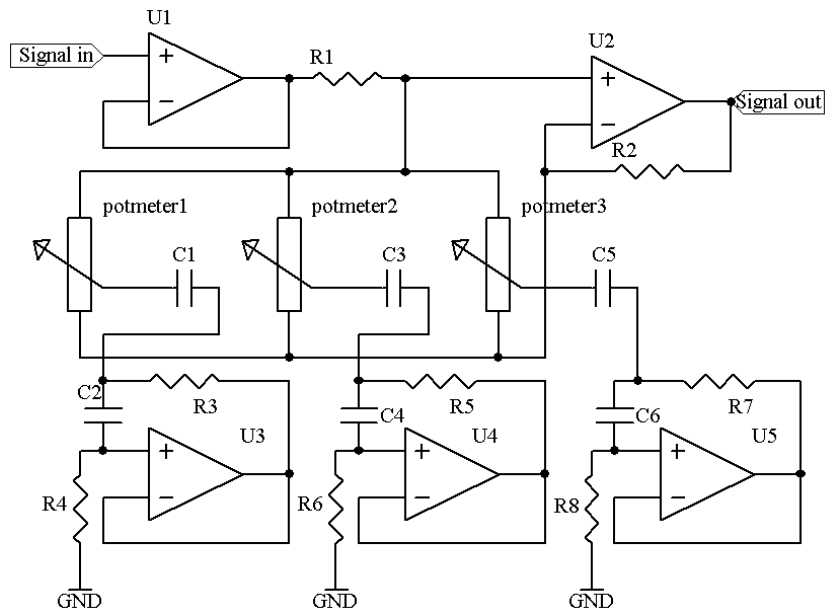


*Figuur 36.2 Het basisschema van een gyrator*

Deze schakeling wordt gebruikt om een spoel te simuleren, ze reageert identiek aan een inductantie. Ze is gebaseerd op het feit dat bij een spoel de stroom  $90^\circ$  naijlt op de spanning. De waarde van de spoel bedraagt  $L = R_1 \cdot R_2 \cdot C$ , waarbij R2 de waarde van de draadweerstand voorstelt en R1 de verliesweerstand als gevolg van de capaciteiten tussen de wikkelingen. Dit circuit wordt gebruikt omdat we spoelen slechts in bepaalde waarden kunnen krijgen en omdat we de verliesweerstand nu zelf kunnen bepalen. Bovendien is het op deze manier mogelijk ideale spoelen te maken met een zeer hoge kwaliteitsfactor.

#### 1.1.1.1 *Oude schakeling*

De schakeling zien we in figuur 37.1.



*Figuur 37.1 De schakeling van verleden jaar*

In dit circuit worden drie gyratoren gebruikt in serie met een condensator. Op deze manier vormen ze een LC keten en kunnen we bandsper- of banddoorlaatfilters maken. De potmeters staan tussen de inverterende en niet-inverterende ingang van opamp U2 en bepalen zo of het teruggekoppelde signaal (aan de inverterende ingang) of hetingangssignaal (aan de niet-inverterende ingang) verzwakt wordt. Op deze manier bepaalt de stand van een potmeter of een frequentieband versterkt of verzwakt wordt. De maximale verzwakking is afhankelijk van R1 en van de gesimuleerde draadweerstand. De maximale versterking is afhankelijk van R2 en van de gesimuleerde draadweerstand. De formules voor de resonantiefrequentie, de demping en de Q-factor van een LC keten zien we hieronder.

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \quad (38.1)$$

$$d = \frac{R_s}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L} \quad (38.2)$$

$$Q = \frac{1}{d} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L}{R_s} \quad (38.3)$$

Hierbij is  $R_s$  de draadweerstand van de spoel. De LC-ketens zijn zodanig gekozen dat de resonantiefrequenties op 100Hz, 1kHz en 10kHz liggen.

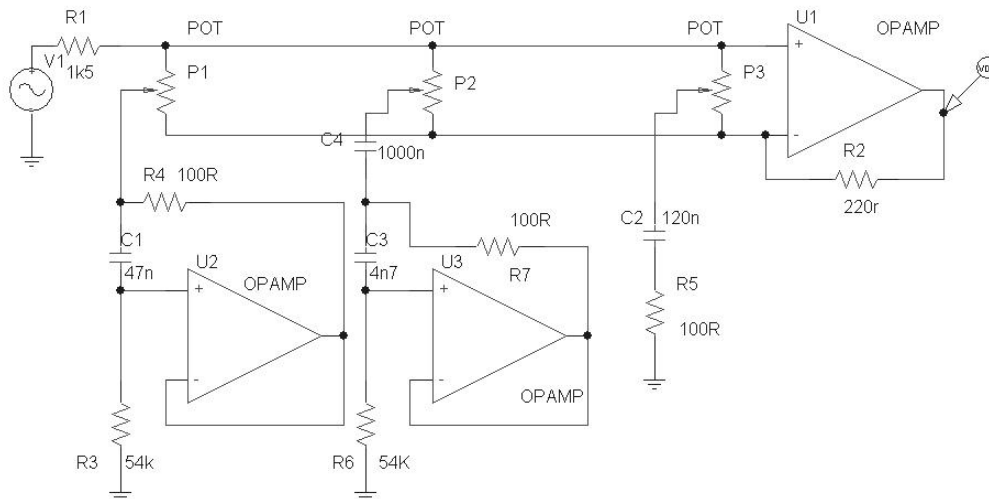
Bij deze schakeling is het vrij eenvoudig de maximale versterking en verzwakking te wijzigen, enkel R1 en R2 moeten aangepast worden.

Bij simulaties van deze schakeling bleek echter dat er drie frequentiebanden versterkt of verzwakt werden, terwijl we voor de hoge en de lage tonen alle frequenties onder 100Hz en boven 10kHz willen versterken en verzwakken. Het bleek bijvoorbeeld onmogelijk om alle frequenties onder 100Hz ongeveer evenveel te verzwakken. Dit is eenvoudig in te zien als we ons realiseren dat we te maken hebben met drie bandsper- of bandpasfilters. Bovendien zal, als we als resonantiefrequentie 100Hz kiezen, de versterking bij 1kHz (1 decade hoger) dezelfde zijn als bij 10Hz (1 decade lager). Simpelweg de resonantiefrequentie verlagen helpt niet, omdat de Q-factor dan zo laag genomen moet worden dat als we 100Hz met 20dB verzwakken, 1kHz ook verzwakt zal worden.

### 1.1.1.2 De nieuwe schakeling

De vorige schakeling is van opzet goed, maar er zijn verbeteringen mogelijk. Zo kunnen we er voor zorgen dat de regeling voor de hoge tonen en de lage tonen niet langer een bandfilter wordt. Deze filters kunnen we beter vervangen door filters die alle frequenties boven of beneden een bepaalde frequentie versterken of verzwakken. Dit kunnen we verwezenlijken door de LC keten te vervangen door een inductantie voor de lage tonen, en door een capaciteit voor de hoge tonen. De regeling voor de hoge tonen kunnen we laten zoals ze is, deze voldoet aan de eisen.

De volledige nieuwe schakeling zien we in figuur 39.1.



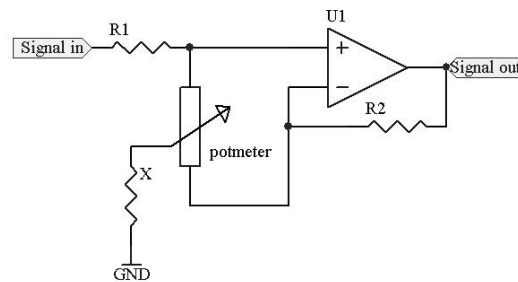
Figuur 39.1 Het nieuwe schema.

We zien dat de opzet van de vorige schakeling behouden is, maar dat de regeling voor de lage tonen en voor de hoge tonen vervangen is. Voor de lage tonen hebben we een RL-keten, waarbij R gevormd wordt door R1 en R4 (bij maximale verzwakking) en door R2 en R4 (bij maximale versterking). De waarde van de inductantie bedraagt 0,25H. Bij de hoge tonen hebben we een RC keten, waarbij R gevormd wordt door R1 en R5 (bij maximale verzwakking) en door R2 en R5 (bij maximale versterking).

Bij alledrie de regelingen is de minimale impedantie van de schakeling die aan de loper van de potmeters wordt bevestigd,  $100\ \Omega$ . Hierdoor kunnen alledrie de regelingen evenveel versterken en verzwakken.

Aangezien  $R_1$  en  $R_2$  verschillend van waarde zijn, zal er in de middenstand geen vlak verloop mogelijk zijn. We lossen dit op door potmeters met een logaritmisch verloop te nemen en de weerstanden  $R_1$  en  $R_2$  zo te nemen (berekenen) dat het frequentieverloop in de middenstand vlak is.

Het vervangingsschema voor elk van deze regelingen apart zien we in volgende figuur.



*Figuur 39.2 Vervangingsschema voor elk van de regelingen.*

De impedantie  $X$  heeft een minimale waarde van  $100\ \Omega$ . De uitgangsamplitude bij maximale verzwakking zien we in uitdrukking 40.1 en bij maximale versterking in uitdrukking 40.2.

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{X}{R_1 + X} \quad (40.1)$$

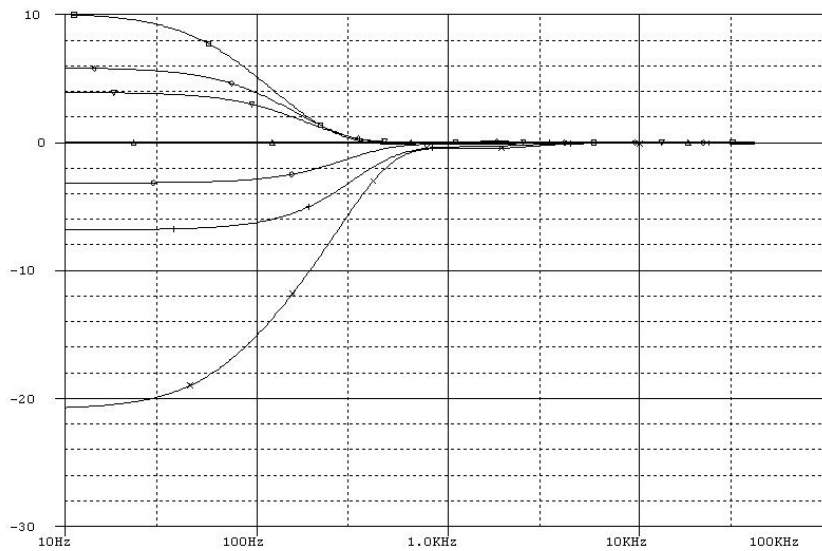
$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{X + R_2}{X} \quad (40.2)$$

We wensen een verzwakking van minimum 15dB, zodat we voor  $R_1$  ongeveer 4,55 keer de waarde van  $X$  bij de gewenste frequentie moeten nemen. Voor  $R_2$  nemen we dezelfde waarde als  $X$  indien we een versterking van 6dB wensen. Bij de regeling voor de lage tonen en de hoge tonen is  $X$  ongeveer  $240\ \Omega$  bij de gewenste frequenties, bij de middentonen is  $X$  bij 1kHz slechts  $100\ \Omega$ . Dit laatste is zo gedaan omdat we de waarde van  $-15\text{dB}$  anders enkel bij 1kHz zouden halen, nu is er een verzwakking van ongeveer 20dB bij 1kHz, zodat we een verzwakking hebben van 15dB over een bredere frequentieband.

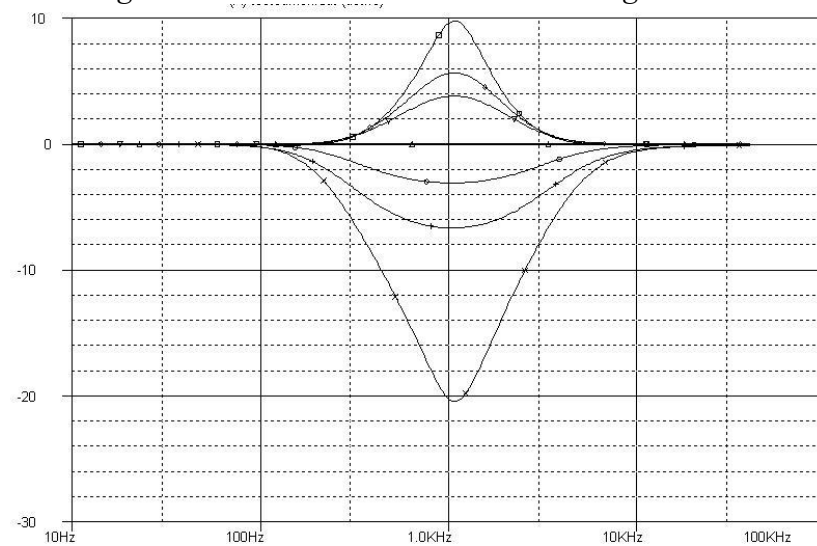
### 1.1.1.3 Resultaat

De aangepaste schakeling is volledig gesimuleerd, en alle componentwaarden zijn aangepast zodat het gewenste frequentieverloop zo goed mogelijk bekomen werd. In de volgende drie

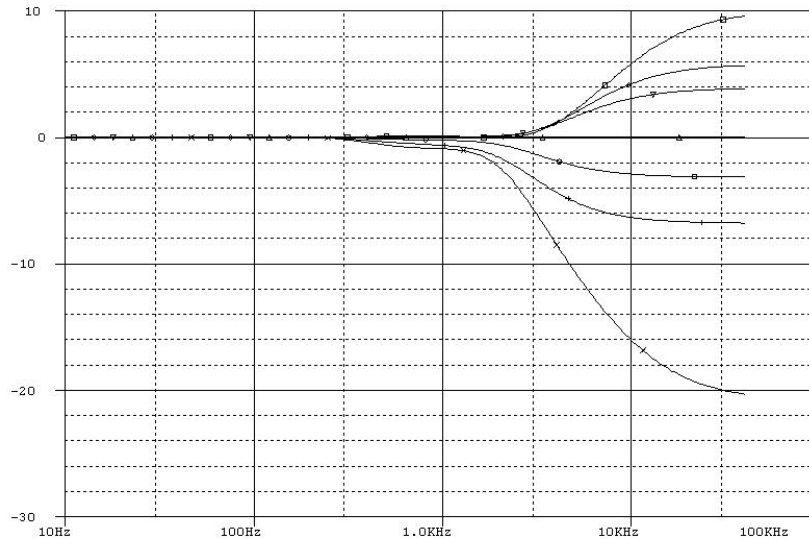
figuren zien we achtereenvolgens het resultaat van de regeling voor de lage tonen, de middentonen en de hoge tonen.



*Figuur 40.1 Simulatieresultaat voor de lage tonen.*



*Figuur 41.1 Simulatieresultaat voor de middentonen.*



*Figuur 41.2 Simulatieresultaat voor de hoge tonen.*

We zien dat zowel bij de lage als bij de hoge tonen de gewenste verzwakking en versterking wordt bereikt bij respectievelijk 100Hz en 10kHz. Bij frequenties die iets lager dan 100Hz en hoger dan 10kHz liggen is er zelfs een verzwakking tot 20dB. Geen van beide regelingen heeft trouwens een significante invloed op de frequenties rond 1kHz.

De regeling voor de middentonen haalt een verzwakking van 20dB en een versterking van 10dB, maar het resultaat hiervan is dat de verzwakking van minimum 15dB over een groter frequentiegebied (van 650Hz tot 1,8kHz) wordt behaald.

Bij elk van de drie plots zijn er 7 curven getekend, die overeenstemmen met het verloop van de potmeter. De middelste curve in elke plot is telkens de curve voor de middenstand. We zien dat we in deze stand telkens een vlak frequentieverloop hebben.