

Ontwerpverslag Monique Buskes

Voeding, toongenerator, versterker en speaker

Ontwerpverslag Monique Buskes

Voeding, toongenerator, versterker en speaker

Naam:	Monique Buskes
Studentnummer:	2072225
Klas:	H3/4
Contact:	msbuskes@gmail.com
Projectcode:	Expo-2
Projectnaam:	Songbuilder
Tutor:	dhr. T. Yilmaz
Vakdocent:	dhr. T. Yilmaz
Opdrachtgever:	dhr. P. Peters

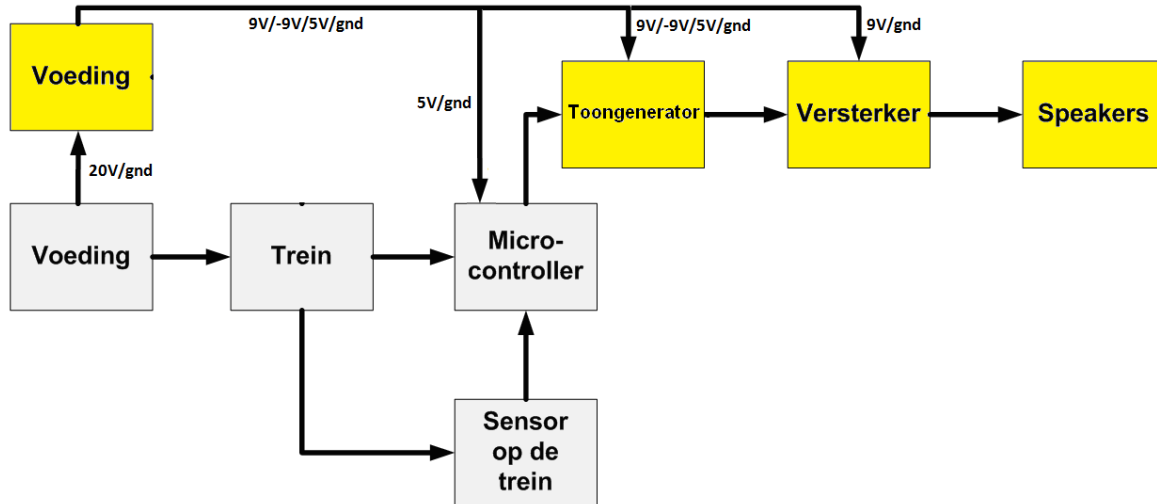
Ontwerpverslag

Inhoud

Inleiding.....	4
Voeding.....	5
Toongenerator.....	6
Wisselsignaalgenerator	6
Berekeningen per noot.....	8
noot C4	9
noot D4	9
noot E4	9
noot F4	9
noot G4.....	9
noot A4	9
noot B4	9
noot C5	9
noot D5.....	10
noot E5	10
noot F5	10
noot G5.....	10
noot A5	10
Aansturing	10
Versterker.....	12
Speaker	13
Input speakers	13
Bijlagen Bijlage A: toongenerator.....	14
Bijlage B: totaalschema	16
Bijlage C: Testresultaten.....	17
Voeding.....	17
Toongenerator.....	18
Versterker	18
Speaker	18

Inleiding

Voor een project waardoor kinderen spelenderwijs met het muzieknootensysteem leren omgaan is er een songbuilder bedacht. Dit is een systeem waarbij een trein over een rails rijdt en met een sensor die heiroop gemonteerd is, afstand herkent. Op een bepaalde afstand worden blokken gelegd door de gebruiker. Afhankelijk van de afstand van zo'n blok tot de sensor hoe hoger of lager de noot wordt afgespeeld. Hoe langer het blok is, hoe langer de noot afgespeeld wordt. Er wordt hiervoor een elektrotechnisch, alsook werktuigbouwkundig systeem ontworpen. Het elektrotechnisch gedeelte bestaat uit de volgende subdelen:



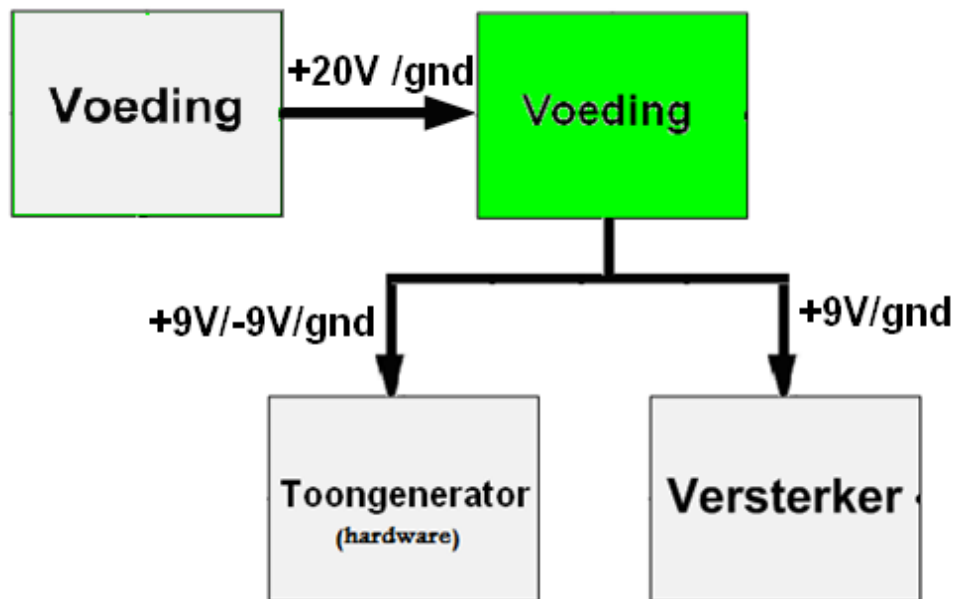
Er is een bestaande voeding die 20V en aarde voedt aan de trein. De trein rijdt met behulp van deze voeding. Er wordt een sensor aan gemonteerd om afstand te herkennen, die in de microcontroller omgezet wordt in het geven van een signaal voor welke toon er afgespeeld dient te worden. Welke toon hangt af van de grootte van de afstand die ingelezen wordt. Het omgezette signaal vanuit de microcontroller wordt toegewezen aan de signaalgenerator met de frequentie voor de bepaalde toon die doorgegeven wordt aan de versterker. Hier wordt het signaal versterkt en wordt omgezet in geluid in de speakers. Omdat er voeding nodig is voor de verschillende subdelen, wordt er nog een gelijkspanningomzetter (ook voeding genoemd) ontworpen.

In dit verslag zal het gaan om de 9V/-9V/gnd-voeding, toongenerator, versterker en de speakers. In deze volgorde zal het besproken worden. In bijlage B is het totaalschema te zien van deze vier subdelen.

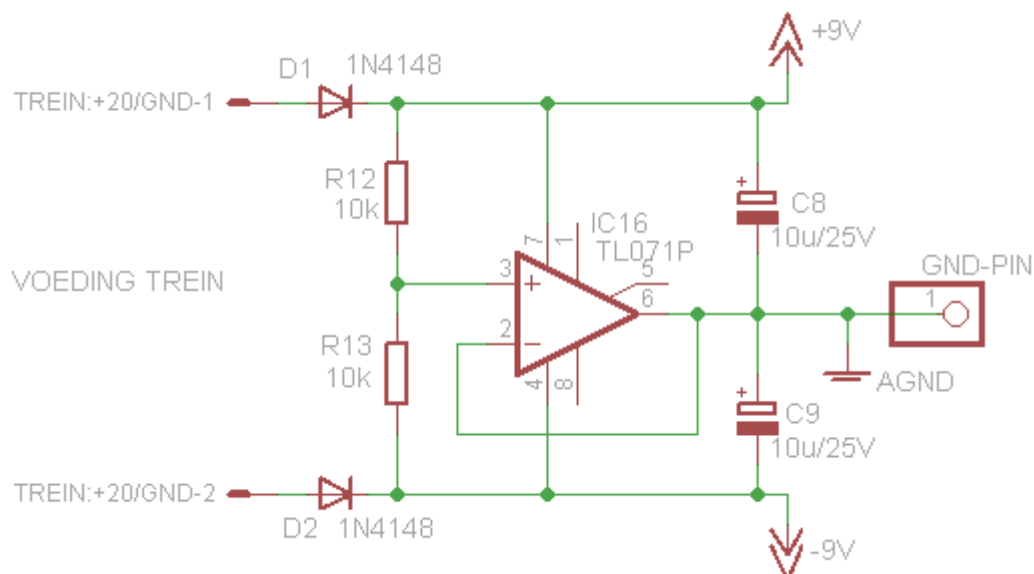
Op alternatieven zal niet ingegaan worden, omdat hier in de SSSD-documenten al uitgebreid op in wordt gegaan. Testresultaten worden in bijlage C besproken van de vier subdelen.

Voeding

Omdat deingangsspanning uit vorige expo groepen anders is dan in dit project, is er een nieuwe gelijkspanningsomzetter nodig. De andere ingangsspanning is ontstaan door een ander modeltrein, waar een andere voeding bij zat en ook meer mogelijkheden ten aanzien van de trein biedt. Voor de uitgangsspanning werd er eerder ook geen negatieve spanning gebruikt, die hier wel nodig is om de operationele versterkers van de toongenerator te voeden.



Voor het voeden van de toongenerator is een positieve en negatieve voedingsspanning benodigd. De voeding die beschikbaar is, is afkomstig van de trein en levert een gelijkspanning van 20V en aarde. Om hier een negatieve voedingsspanning van te krijgen, zal de helft van de spanningsruimte naar aarde getrokken worden. Door twee weerstanden te nemen met een gelijke waarde, zal de positieve spanning dezelfde waarde hebben als de negatieve spanning. Dit is wat gewenst is voor de operationele versterkers in de toongenerator. Het wisselsignaal dat dan in de toongenerator gegenereerd wordt, slingert dan rond de 0V. Hierdoor ontstaat een +10V, aarde en -10V. Het schema is als volgt:

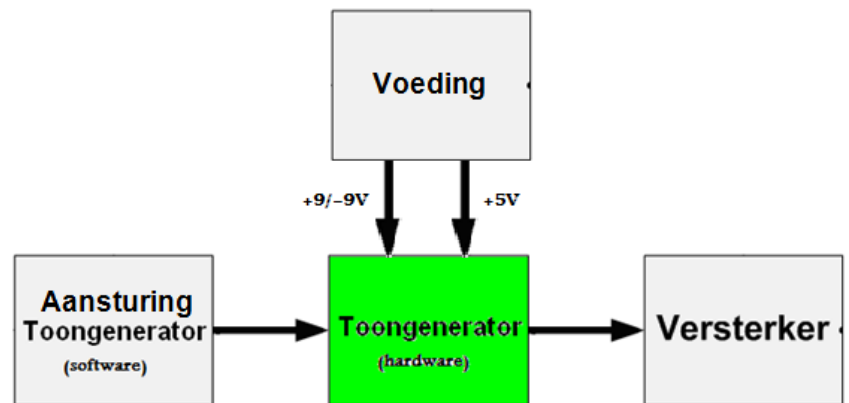


Ontwerpverslag

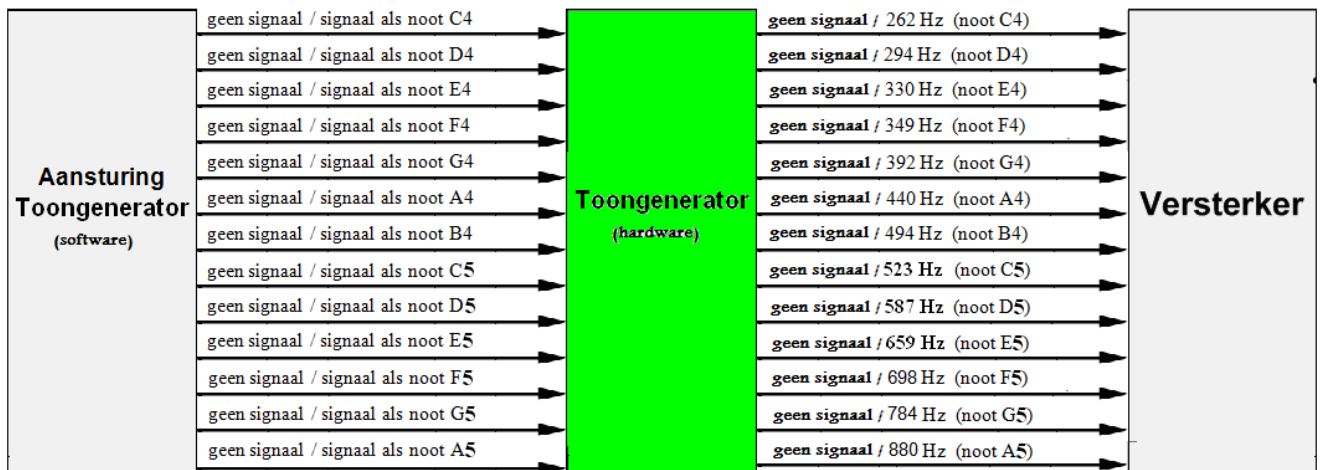
De diodes zorgen ervoor dat de spanning die de trein benodigt niet beïnvloed wordt. Omdat de diodes circa 0,7V benodigen en er verliezen optreden, zal de spanning variëren van circa +9V, aarde en -9V.

Toongenerator

In beide eerdere expo projecten met de songbuilder werd een bloksignaal vanuit de microcontroller gebruikt dat versterkt werd. Ook ontstond er een inschakelverschijnsel dat bekend is als een zogenaamde plop. Omdat een bloksignaal minder aangenaam klinkt en een plop bij het veranderen van frequentie dat gedurende een lied continu gebeurt is gekozen een sinussignaal te genereren.



Hier schuin boven onder is schematisch weergegeven welke signalen er lopen naar de toongenerator toe en van de toongenerator af. Hieronder is aangegeven welke noten er mogelijk te horen kunnen zijn, zoals gespecificeerd vanuit de opdrachtgever (noten C4 tot en met A5).

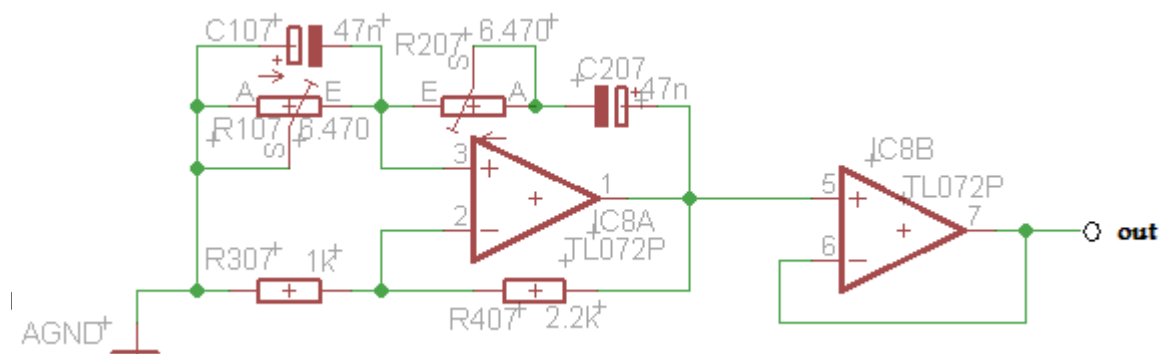


Er komt een signaal vanuit de microcontroller (aansturing toongenerator (software)) naar een bepaalde ingang van de toongenerator wanneer die noot gegenereerd behoort te worden. Dit zal worden gedaan door het aansturen van een multiplexer. Later in dit verslag zal uitgelegd worden hoe dit in elkaar zit. Als uitgang komt dan het signaal met de frequentie die hoort bij de geselecteerde noot. Deze wordt naar de versterker gestuurd.

Het algehele schema van de toongenerator ziet er als volgt uit: zie bijlage A.

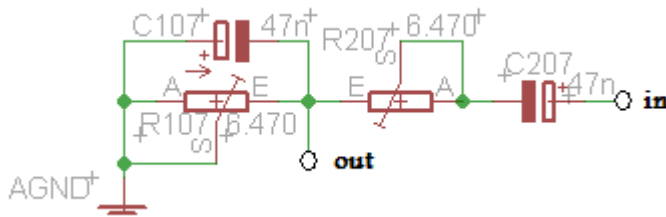
Wisselsignaalgenerator

Onderverdeeld in losse stukken: één wisselsignaalgenerator uitgelicht. Er kunnen in het systeem dertien wissel signalen, met een eigen frequentie, gegenereerd worden. Voor de duidelijkheid van het verhaal, wordt de signaalgenerator allereerst zonder de multiplexers besproken. Deze multiplexers zitten echter wel in het systeem.



Ontwerpverslag

Er wordt gebruik gemaakt van het Wienbrug-principe met daarachter een buffer. Voor de oscilleervoorwaarden geldt dat de versterking 1 behoort te zijn en de fasedraaiing 0° of 360°.



De potmeters zijn eigenlijk weerstanden, maar dan (blijvend) ingesteld op een vaste waarde. Dit, omdat bestaande weerstanden te weinig de benodigde waarden benaderen. Om de weerstanden en condensatoren gelijk te stellen aan elkaar geldt voor de impedanties het volgende:

$$Z_{parallel} = \frac{R \cdot \frac{1}{i\omega C}}{R + \frac{1}{i\omega C}} \cdot i\omega C = \frac{R}{1 + i\omega RC} \quad \text{en} \quad Z_{serie} = R + \frac{1}{i\omega C} = \frac{1 + i\omega RC}{i\omega C}$$

De overdracht is dan als volgt:

$$H = \frac{u_{uit}}{u_{in}} = \frac{Z_{parallel}}{Z_{parallel} + Z_{serie}} = \frac{\frac{R}{1 + i\omega RC}}{\frac{R}{1 + i\omega RC} + \frac{1 + i\omega RC}{i\omega C}} = \frac{1}{3 + i(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}$$

Om de oscillatiefrequentie te kunnen berekenen, wordt het imaginaire deel op 0 gesteld.

$$\omega_0 RC - \frac{1}{\omega_0 RC} = 0$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

De fasedraaiing is dan 0° en hiermee wordt aan een van de oscilleervoorwaarden voldaan. Tevens is rekening gehouden met dat de Wienbrug aan de plus-ingang van de operationele versterker wordt aangesloten. Aan de min-ingang zou namelijk een fasedraaiing van 180° ontstaan.

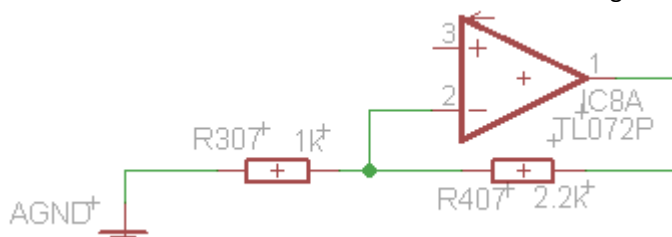
Hieruit volgt dat de oscillatiefrequentie de volgende is:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

De overdracht is bij f_0 :

$$H = \frac{u_{uit}}{u_{in}} = \frac{1}{3 + i(\omega_0 RC - \frac{1}{\omega_0 RC})} = \frac{1}{3}$$

Omdat de overdracht $\frac{1}{3}$ is en de versterking 1 behoort te zijn, zal in een tegenkoppeling met $\frac{1}{3}$ versterkt worden om aan deze voorwaarde te voldoen. Dit wordt gedaan met dit gedeelte van de schakeling:



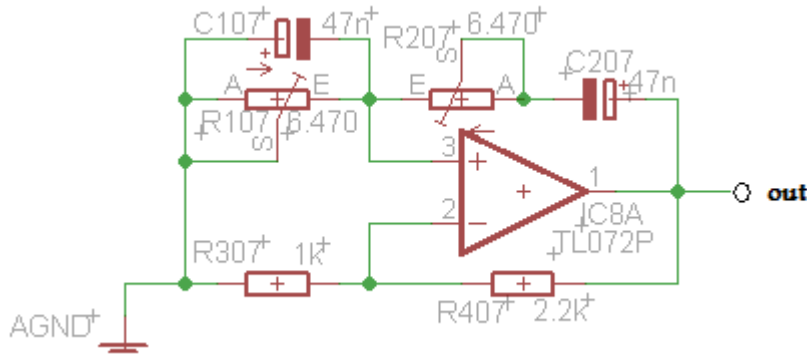
De spanningsversterking is dan:

Ontwerpverslag

$$A_u = \frac{1}{\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{R_{3XX} + R_{4XX}}} = \frac{1}{\frac{1}{1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^3}} = 3$$

Om de E12-reeks van weerstanden aan te houden wordt dan gekozen voor de waarden 1kΩ en 2,2kΩ.

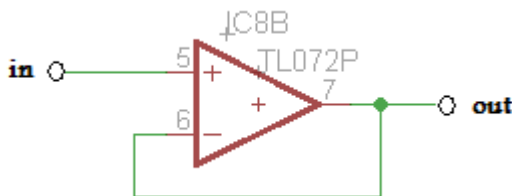
Zo ontstaat de gehele wisselsignaalgenerator:



Hoe het komt dat het mogelijk is dat er een sinussignaal gegeneerd wordt, is als volgt:

Bij lagere frequenties domineren C2XX en R1XX door de hoge reactie van C2XX. Zodra de frequentie stijgt, zakt X_{C2XX} dat ervoor zorgt dat de uitgangsspanning stijgt. Bij de bepaalde resonantiefrequentie nemen C1XX en R2XX het over en zorgt de zakkende X_{C1XX} ervoor dat de uitgangsspanning daalt. Het wisselen van het dalen en stijgen van de uitgangsspanning zorgt voor het sinussignaal.

Aan het einde van de wisselsignaalgenerator komt een buffer, zodat de schakeling die erop volgt, de wisselsignaalgenerator niet kan beïnvloeden. Een kleine invloed kan er namelijk al voor zorgen dat de generator stopt met oscilleren.



Berekeningen per noot

De gegevens die bij de dertien signalen met hun frequentie horen, zijn voor de noten C4 tot en met A5 hieronder weergegeven. De frequentie wordt berekend middels de volgende formule: $f_x = 440 \cdot 2^{n/12}$

waarbij n staat voor het aantal noten dat de noot onder (n is negatief) of boven (n is positief) gesitueerd is. f_x staat voor de bijbehorende frequentie. Deze formule is afgeleid van een frequentie (440Hz) als basis te gebruiken en het opvolgende deel van de formule komt doordat het menselijk oor frequentie van geluid waarneemt als een logaritmische vergelijking.

Om meteen te berekenen welke waarden van de weerstanden benodigd zijn, wordt de volgende formule gebruikt:

$$f_x = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_x \cdot C_x}$$

De waarden voor de frequenties zijn dan bekend. De waarden voor de

weerstanden (R) en de condensatoren (C) behoren dan nog bepaald te worden. Voor de condensator wordt een waarde gekozen: 47nF. De waarden voor de weerstanden worden dan als volgt berekend:

$$R_x = R_{1XX} = R_{2XX} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_x \cdot C_x} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_x \cdot 47 \cdot 10^{-8}}$$

De weerstanden die voor deze toongenerator

Ontwerpverslag

gebruikt gelden voor de weerstanden R1XX en R2XX. De XX staat voor de code van de signaal generator, lopende van 00 tot en met 12.

noot C4

De frequentie van deze noot is: $f_1 = 440 \cdot 2^{-9/12} = 262\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R100 en R200 wensen de volgende waarde: $R_{100} = R_{200} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 262 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 12.925\Omega$.

noot D4

De frequentie van deze noot is: $f_2 = 440 \cdot 2^{-7/12} = 294\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R101 en R201 wensen de volgende waarde: $R_{101} = R_{201} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 294 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 11.518\Omega$.

noot E4

De frequentie van deze noot is: $f_3 = 440 \cdot 2^{-5/12} = 330\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R102 en R202 wensen de volgende waarde: $R_{102} = R_{202} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 330 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 10.261\Omega$.

noot F4

De frequentie van deze noot is: $f_4 = 440 \cdot 2^{-4/12} = 349\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R103 en R203 wensen de volgende waarde: $R_{103} = R_{203} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 349 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 9.703\Omega$.

noot G4

De frequentie van deze noot is: $f_5 = 440 \cdot 2^{-2/12} = 392\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R104 en R204 wensen de volgende waarde: $R_{104} = R_{204} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 392 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 8.638\Omega$.

noot A4

De frequentie van deze noot is: $f_6 = 440 \cdot 2^{0/12} = 440\text{Hz}$ (uitgangspunt).

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R105 en R205 wensen de volgende waarde: $R_{105} = R_{205} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 440 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 7.696\Omega$.

noot B4

De frequentie van deze noot is: $f_7 = 440 \cdot 2^{2/12} = 494\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R106 en R206 wensen de volgende waarde: $R_{106} = R_{206} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 494 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 6.855\Omega$.

noot C5

De frequentie van deze noot is: $f_8 = 440 \cdot 2^{3/12} = 523\text{Hz}$.

Ontwerpverslag

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R107 en R207 wensen de volgende waarde: $R_{107} = R_{207} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 523 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 6.475\Omega$.

noot D5

De frequentie van deze noot is: $f_9 = 440 \cdot 2^{5/12} = 587\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R108 en R208 wensen de volgende waarde: $R_{108} = R_{208} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 587 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 5.769\Omega$.

noot E5

De frequentie van deze noot is: $f_{10} = 440 \cdot 2^{7/12} = 659\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R109 en R209 wensen de volgende waarde: $R_{109} = R_{209} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 659 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 5.139\Omega$.

noot F5

De frequentie van deze noot is: $f_{11} = 440 \cdot 2^{8/12} = 698\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R110 en R210 wensen de volgende waarde: $R_{110} = R_{210} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 698 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 4.851\Omega$.

noot G5

De frequentie van deze noot is: $f_{12} = 440 \cdot 2^{10/12} = 784\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R111 en R211 wensen de volgende waarde: $R_{111} = R_{211} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 784 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 4.319\Omega$.

noot A5

De frequentie van deze noot is: $f_{13} = 440 \cdot 2^{12/12} = 880\text{Hz}$.

De weerstanden die voor deze toongenerator gebruikt worden voor de weerstanden R112 en R212 wensen de volgende waarde: $R_{112} = R_{212} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 880 \cdot 47 \cdot 10^{-8}} = 3.848\Omega$.

Omdat het belangrijk is om exacte weerstandswaarden te gebruiken om de juiste frequentie te verkrijgen en om een aantal weerstanden in serie te vermijden en het probleem met toleranties te vermijden, worden instelpotmeters gebruikt. Om de exacte frequenties te behalen. Hierbij wordt uitgegaan van de berekende weerstandswaarden.

Aansturing

Omdat er per tijdseenheid maximaal één signaal benodigd is, wordt er ook maar één signaal opgewekt. Hierdoor gaat geen onnodige energie verloren. Voor de aansturing van een van de dertien signalen wordt een multiplexer gebruikt. De weerstanden die nodig zijn voor de frequentie van het sinussignaal, krijgt toegang doordat de multiplexer hier naartoe schakelt. Er worden twee multiplexers gebruikt, echter is de werking van beiden hetzelfde, waardoor er hier op een van beide deelschema's wordt ingegaan. Voor het totaalschema zie bijlage A.

Als referentiespanning behoeven de multiplexers 5V gelijkspanning. Deze spanning is ook benodigd voor de microcontroller en is gemaakt door de heer du Pau in zijn voeding. De uitgangen van deze voeding worden daarom hier ook gebruikt. Als ingangsspanning is tevens de +9V en -9V benodigd.

Ontwerpverslag

De multiplexer wordt aangestuurd door de microcontroller. Om een bepaalde toongenerator te laten werken geeft de multiplexer, aangestuurd door de microcontroller, voeding aan de juiste toongenerator. Afhankelijk van of de poorten A3, A2, A1 en A0 signaal krijgen van de microcontroller; wordt een bepaalde ingang van de microcontroller geselecteerd.

De volgende signalen vanuit de microcontroller, sturen de volgende toongeneratoren aan:

Bij A3 = laag signaal, A2 = laag signaal, A1 = laag signaal, A0 = laag signaal: de poorten IN1 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot C4 genereert.

Bij A3 = laag signaal, A2 = laag signaal, A1 = laag signaal, A0 = hoog signaal: de poorten IN2 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot D4 genereert.

Bij A3 = laag signaal, A2 = laag signaal, A1 = hoog signaal, A0 = laag signaal: de poorten IN3 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot E4 genereert.

Bij A3 = laag signaal, A2 = laag signaal, A1 = hoog signaal, A0 = hoog signaal: de poorten IN4 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot F4 genereert.

Bij A3 = laag signaal, A2 = hoog signaal, A1 = laag signaal, A0 = laag signaal: de poorten IN5 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot G4 genereert.

Bij A3 = laag signaal, A2 = hoog signaal, A1 = laag signaal, A0 = hoog signaal: de poorten IN6 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot A4 genereert.

Bij A3 = laag signaal, A2 = hoog signaal, A1 = hoog signaal, A0 = laag signaal: de poorten IN7 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot B4 genereert.

Bij A3 = laag signaal, A2 = hoog signaal, A1 = hoog signaal, A0 = hoog signaal: de poorten IN8 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot C5 genereert.

Bij A3 = hoog signaal, A2 = laag signaal, A1 = laag signaal, A0 = laag signaal: de poorten IN9 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot D5 genereert.

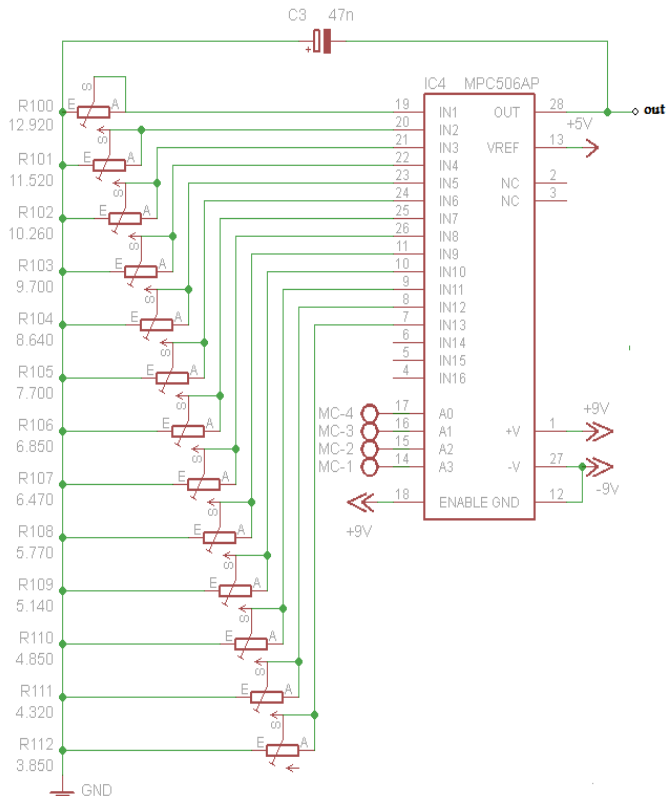
Bij A3 = hoog signaal, A2 = laag signaal, A1 = laag signaal, A0 = hoog signaal: de poorten IN10 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot E5 genereert.

Bij A3 = hoog signaal, A2 = laag signaal, A1 = hoog signaal, A0 = laag signaal: de poorten IN11 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot F5 genereert.

Bij A3 = hoog signaal, A2 = laag signaal, A1 = hoog signaal, A0 = hoog signaal: de poorten IN12 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot G5 genereert.

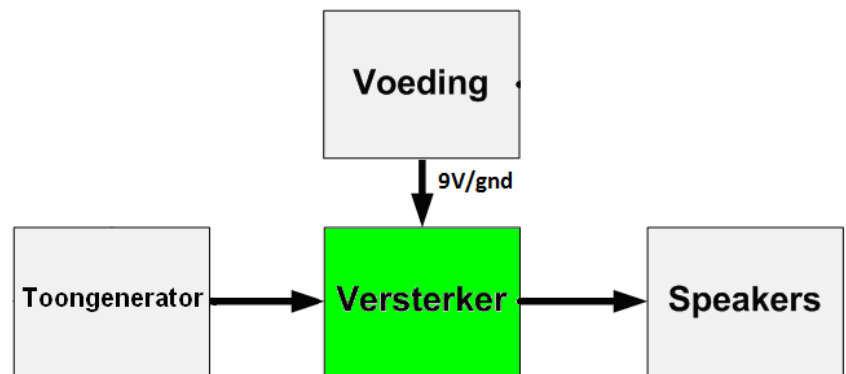
Bij A3 = hoog signaal, A2 = hoog signaal, A1 = laag signaal, A0 = laag signaal: de poorten IN13 van de multiplexers worden aangestuurd; dat inhoudt dat de toongenerator de sinus met een frequentie van noot A5 genereert.

De uitgang van de weerstanden worden als het ware doorgelust van de ingang naar de uitgang van de multiplexer. Per tijdseenheid wordt er dan een weerstand gebruikt, waardoor de gewenste frequentie wordt gegenereerd. Per noot is dan ook voor de wisselingsgenerator een van de dertien weerstanden te zien.

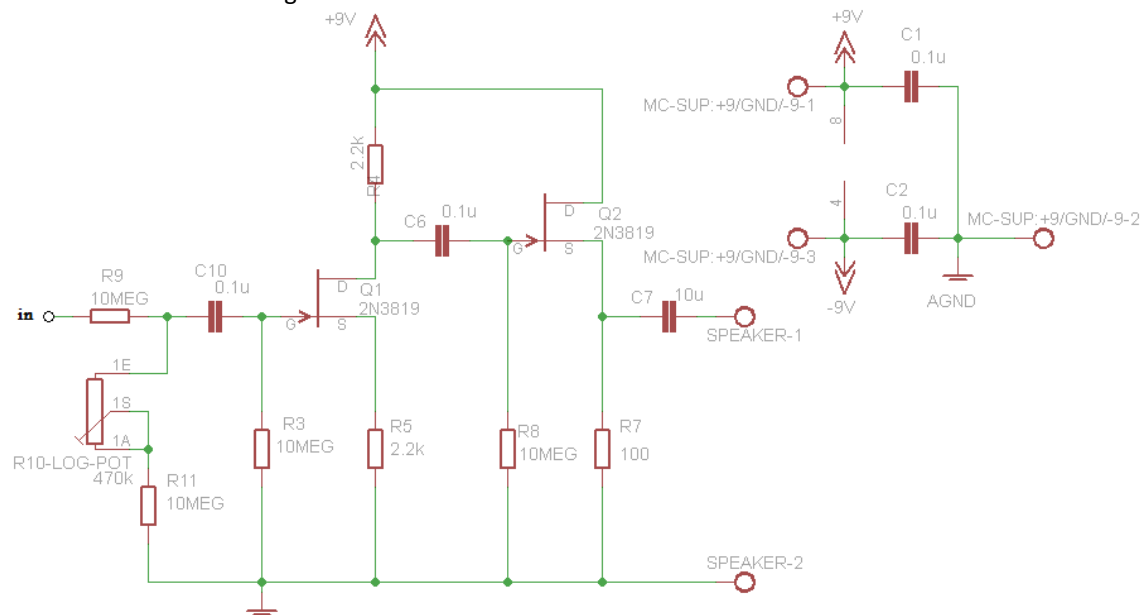


Versterker

Omdat de inputspecificaties anders zijn als bij de vorige expo groepen en het probleem van een missende negatieve voedingsspanning niet aanwezig is, zal hier een andere versterker gebouwd worden. Het volume was niet regelbaar, dat hier als extra functie aan toegevoegd zal zijn.



Het schema ziet er als volgt uit:



Allere

erst wordt er een verzwakking toegepast, omdat er een groot ingangssignaal op de ingang van de versterker staat. Tevens bevindt zich hier een potmeter om het volume in te kunnen stellen. Dit is een logaritmische potmeter, omdat geluidsterkte op logaritmische wijze door het menselijk oor ontvangen wordt. Deze zorgt ervoor dat een voldoende, maar niet te hoog, geluidsniveau wordt uitgestuurd.

Vervolgens wordt de versterker zo ingesteld, dat deze een gewenste impedantie krijgt voor de uitgang. Dit wordt gedaan door een zogenaamde source-volger. De kenmerken van een source-volger zijn een versterking van circa 0,99 (net niet 1) en een gewenste in te stellen uitgangsimpedantie.

Deze uitgangsimpedantie is belangrijk voor het juiste geluidsniveau. Bij het uitsturen van 1 Watt, wordt er een geluidsniveau van 86dB bereikt. Dit is meer dan voldoende. Bij een geluidsniveau van 83dB zou maar 0,1Watt benodigd zijn. Namelijk bij het halveren van het geluidsniveau, zakt deze met 3dB en is nog maar $1/10^e$ deel van het vermogen benodigd. Om 0,1Watt aan te sturen, is van belang hoeveel spanning en stroom er uitgestuurd wordt. De uitgangsweerstand is:

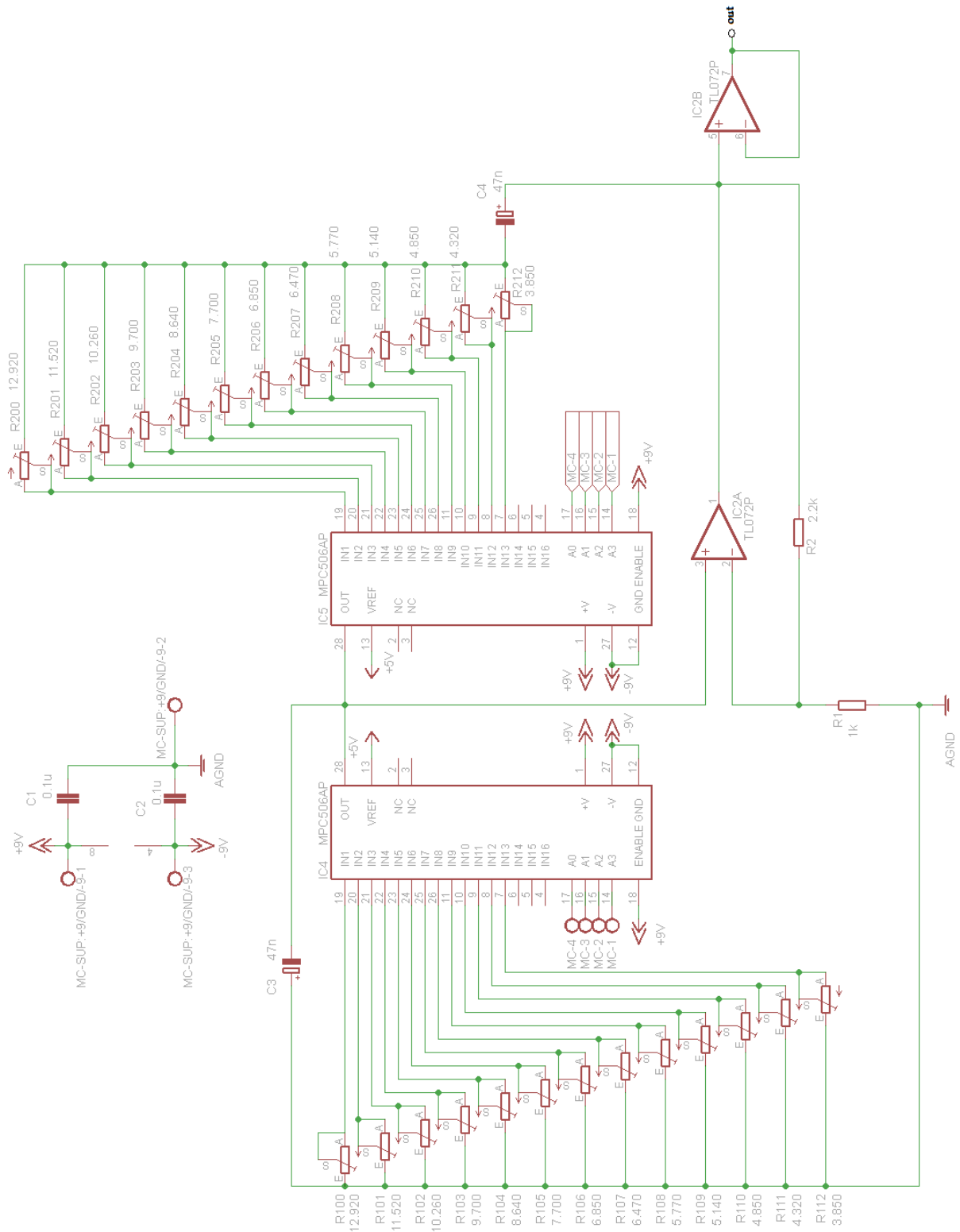
$$R_{uit} = \frac{u_{open}}{i_{kort}} = \frac{\frac{\mu \cdot R_s}{\mu \cdot R_s + R_s + \frac{\mu}{S}} \cdot u_{in}}{S \cdot u_{in}} = \frac{R_s \cdot \frac{1}{S}}{R_s + \frac{1}{S}}$$

Waarbij μ staat voor de spanningsversterking en S voor de steilheid. R_s is de source-weerstand.

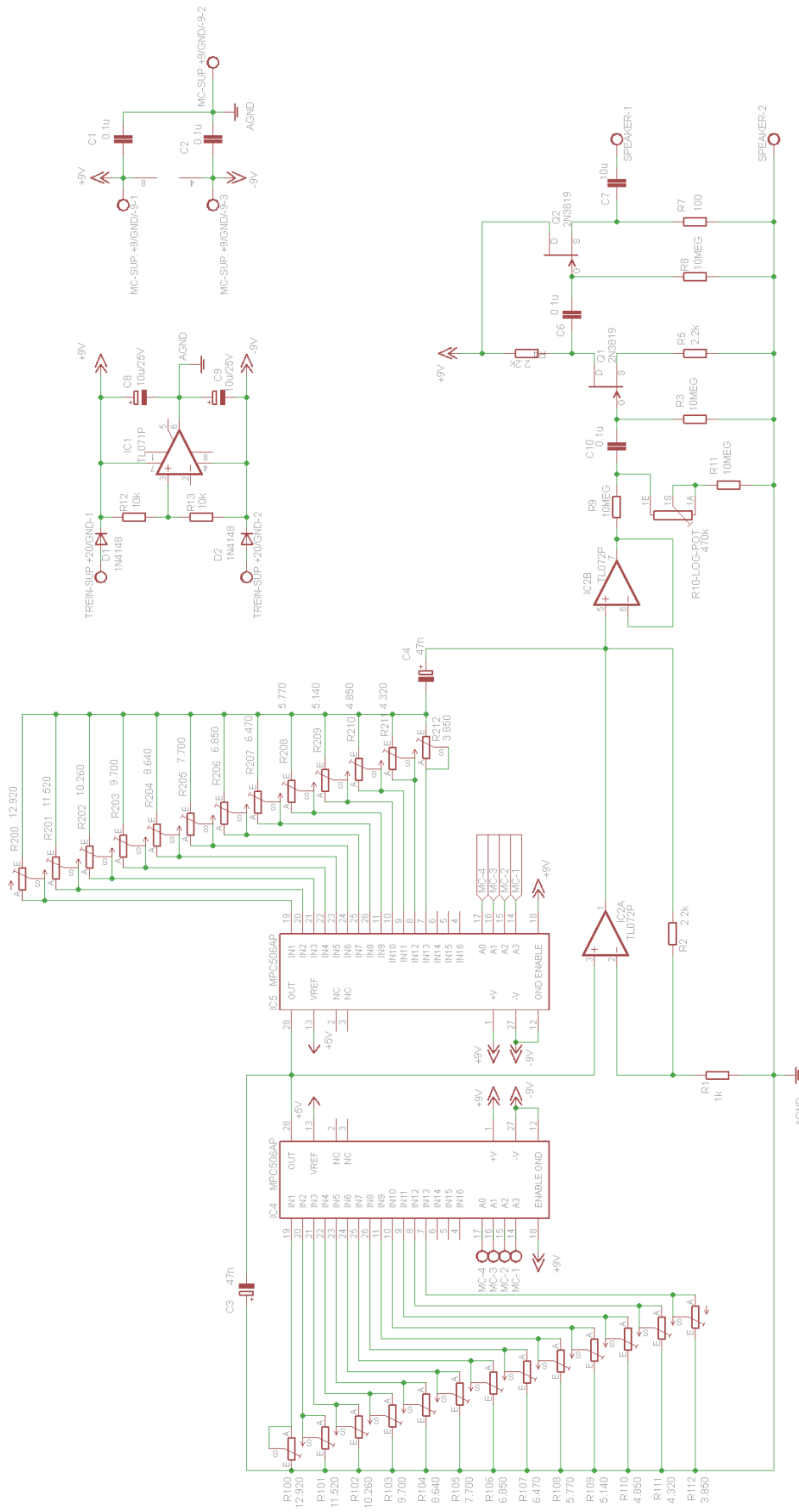
Ontwerpverslag

Bijlagen

Bijlage A: toongenerator



Bijlage B: totaalschema

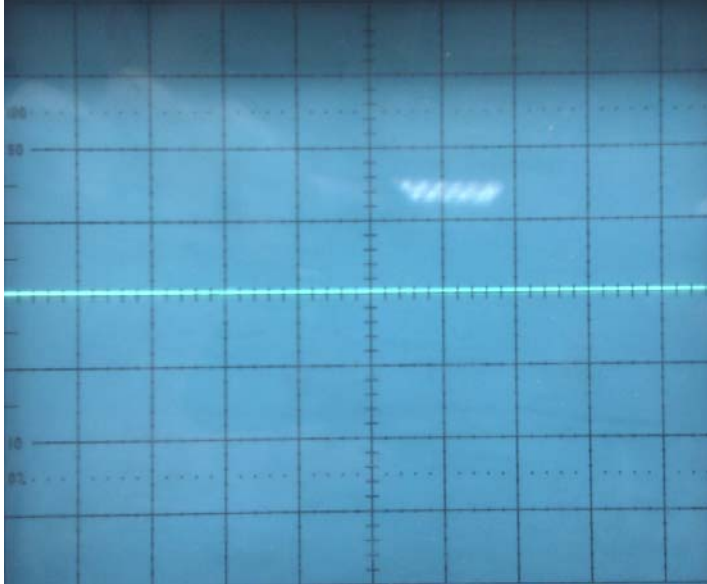


Bijlage C: Testresultaten

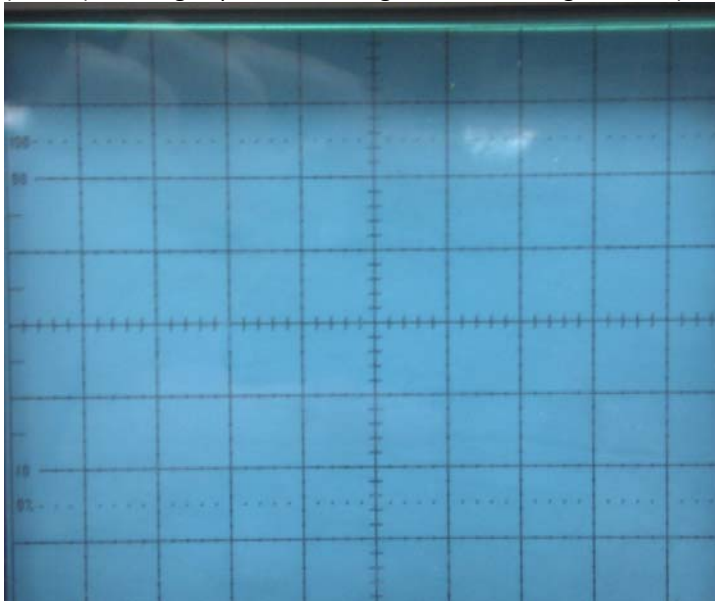
Voeding

Getest en werkende:

Oscilloscoop-instelling: Aarde aangegeven:

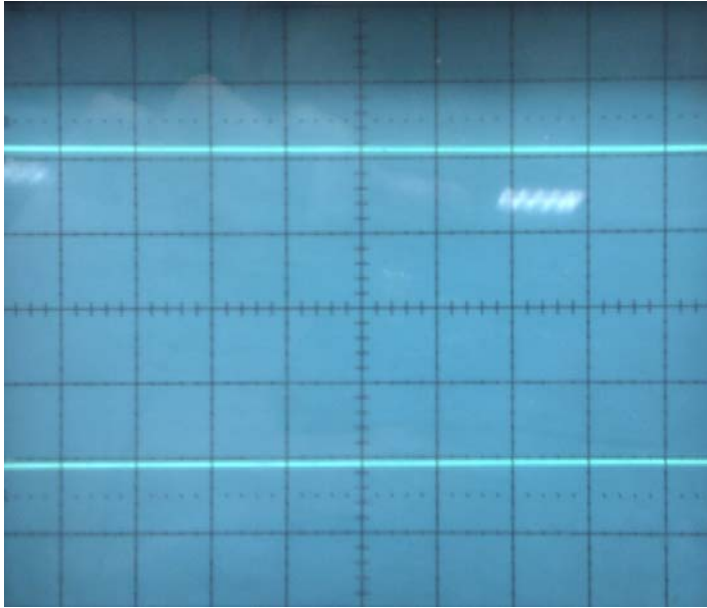


(5V/div) Voeding: input: De voeding vanuit de trein geeft 20V (5V/div) aan ten opzichte van zijn aarde:



Ontwerpverslag

(5V/div) Voeding: output: 10V en -10V aangegeven ten opzichte van de gecreerde aarde:

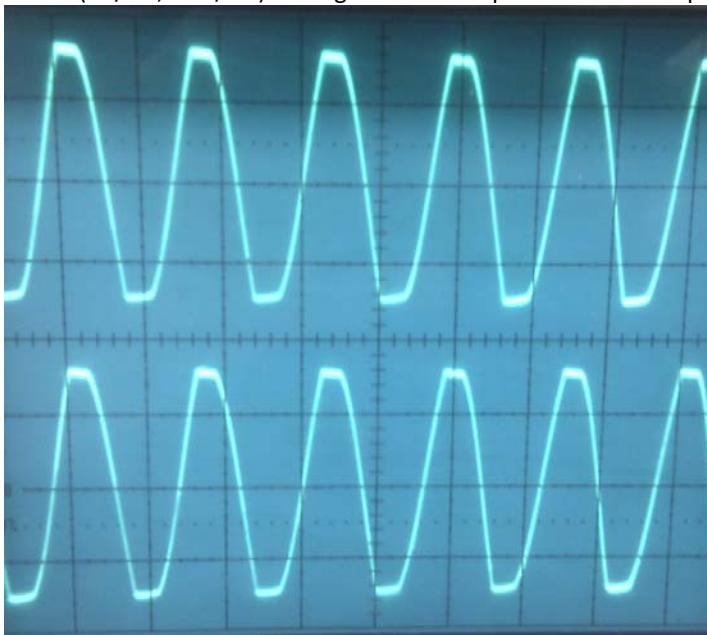


Toongenerator

Getest en werkende:

Boven (5V/div, 2ms/div): Toongenerator: output exclusief multiplexers: wisselsignaal

Onder (5V/div, 2ms/div): Toongenerator: output inclusief multiplexers: wisselsignaal



Omdat de weerstand hier verkeerd gekozen is, loopt het signaal net tegen zijn voedingsspanning aan. In het uiteindelijke ontwerp zullen echter de weerstanden met precisie-potmeters ingesteld worden.

Versterker

Getest en werkende. Geen foto's beschikbaar.

Speaker

Getest en werkende. Geen foto's beschikbaar.

