

Simulatie van een audio-eindversterker met **TINA**

eerst uitproberen, dan bouwen



Dogan Ibrahim (Verenigd Koninkrijk)

Veel Elektor-schakelingen nodigen uit tot experimenteren en verbeteren. Je kunt zo'n schakeling natuurlijk opbouwen (zwevend bedraad of op breadboard), maar je kunt ook overwegen zo'n schakeling virtueel te simuleren. Hier demonstreren we het gebruik van TINA of TINACloud om een eenvoudige audio-versterker te begrijpen, te testen en te analyseren zonder het risico van soldeerdampen, rook, of gesprongen zekeringen.

Audio-eindversterkers zijn in wezen de eindtrappen van audioversterkers. Ze zijn ontworpen voor een getrouwe versterking van het vermogen (P). Een spanningsversterker daarentegen is ontworpen voor een optimale en maximale versterking van de spanning (V). De uitgangen van audio-eindversterkers worden gewoonlijk aangesloten op luidsprekers. **Tabel 1** verduidelijkt de belangrijkste verschillen tussen een spanningsversterker en een eindversterker.

Audio-eindversterkers zijn verkrijgbaar in, en specifiek ontworpen voor, verschillende configuraties die gewoonlijk Klasse A, Klasse B, Klasse AB, Klasse C enzovoort worden genoemd; de belangrijkste zijn:

- **Klasse A:** hier ligt het werkpunt van de transistor dicht bij het midden van de voedingsspanning. De transistor geleidt gedurende de volledige fasecyclus van 360° van het audiosignaal. Het belangrijkste voordeel van klasse A-versterking is dat het uitgangssignaal vrijwel onvervormd is. De schakeling lijdt echter onder een laag rendement.



Tabel 1. Verschillen tussen spannings- en eindversterkers.

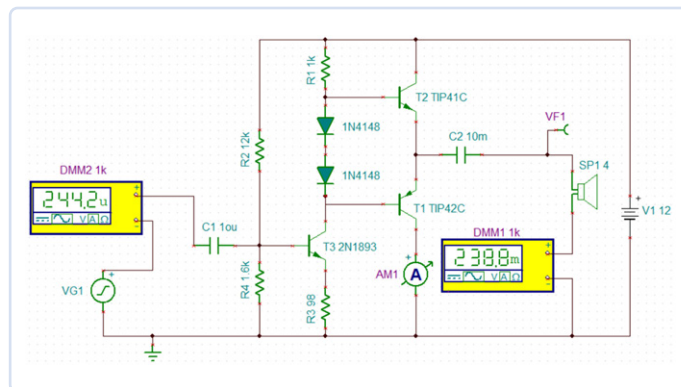
Parameter	Spannings-versterker	Vermogens-versterker
Koppeling	doorgaans RC	doorgaans transformator
Ingangsspanning	een paar mV	doorgaans 2...4 V
Collectorstroom	een paar mA	meer dan 100 mA
Belastingweerstand	enkele k Ω	4...20 Ω
β	meer dan 100	4...30
Spanningsversterking	hoog	laag
Vermogen	laag	hoog

- **Klasse B:** in klasse B worden twee transistoren gebruikt met hun werkpunten bij het overnamepunt. Dientengevolge versterkt één transistor het signaal gedurende één helft van de audio-ingangsgolfvorm, terwijl de andere transistor gedurende de andere helft versterkt. Door deze instelling is de ruststroom nul zonderingangssignaal en wordt er dan dus geen vermogen gedissipeerd. Klasse B-configuratie heeft te lijden van inherente vervorming, vooral bij het overnamepunt van hetingangssignaal.
- **Klasse AB:** deze configuratie is vergelijkbaar met klasse B, maar de vervorming wordt gereduceerd door de transistoren iets boven de drempelsspanning in te stellen. Klasse AB is de meest gebruikte configuratie voor audio-eindversterkers.

Simulatie van een klasse AB audio eindversterker

Figuur 1 toont het schema van een typische klasse AB-versterker, bestaande uit een paar op elkaar afgestemde NPN- en PNP-transistoren (dat wil zeggen complementair). Het schema is gegenereerd met TINA of TINACloud voor simulatiedoeleinden. Ervan uitgaande dat je TINA of TINACloud hebt geïnstalleerd, kun je het schema zelf tekenen of het bestand *sim14* van de projectpagina bij dit artikel importeren [1]. Op die pagina kun je eerst het (e-)boek van de auteur bewonderen en dan naar *Downloads* scrollen. Klik vervolgens op *Software_Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (767,94 kB). Sla het bestand lokaal op, pak het uit naar een map met een geschikte naam, en zoek dan het simulatiebestand met de naam *sim14*.

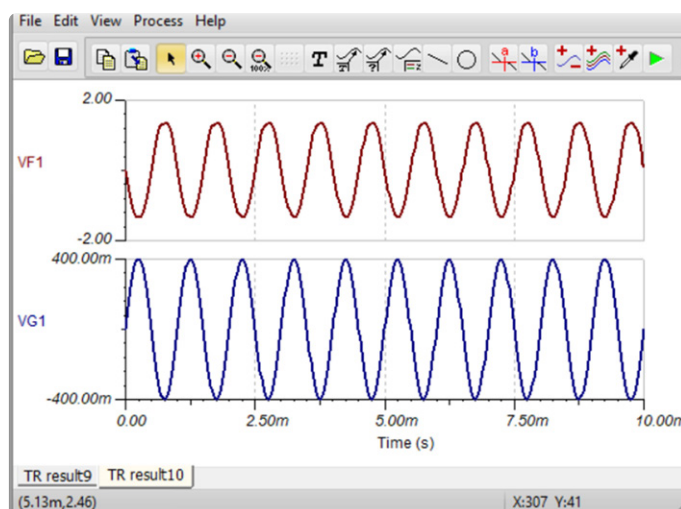
Een virtuele 4 Ω -luidspreker wordt aangesloten op de uitgang van de schakeling. Ook worden twee virtuele ampèremeters aangesloten om de stroom (RMS, *root mean square*) te meten aan respectievelijk de ingang en de uitgang van de schakeling. De gebruikte componenten – ook hier zijn het virtuele componenten – zijn opgesomd in **tabel 2**. De schakeling werkt als volgt. Twee diodes zorgen voor de instelspanning voor de transistoren. T3 levert de stroom door deze diodes. De rustspanning aan de uitgang is ingesteld op ongeveer $V_{CC}/2$. T3 werkt als een kleinsignaal-versterker en buffer (emitterschakeling), die de bases van T1 en T2 aanstuurt. Tijdens de positieve helft van hetingangssignaal wordt T1 aangestuurd, terwijl T2 spert. Op dezelfde manier wordt bij de negatieve helft van hetingangssignaal T2 aangestuurd, terwijl T1 spert.



Figuur 1. In TINA getekend schema van de klasse AB-audio-eindversterker.

Tabel 2. Onderdelen voor sim14 (simulatie Klasse-AB versterker).

Component	Waarde (TINA-eenheden)
VG1	400 m sinus, f = 1k
C1	10 μ
C2	10 m
R1	1 k
R2	12 k
R3	98
R4	1,6 k
D1, D2	1N4148
T1	TIP41C (NPN)
T2	TIP42C (PNP)
SP1	4 Ω -luidspreker
V1	12V-batterij



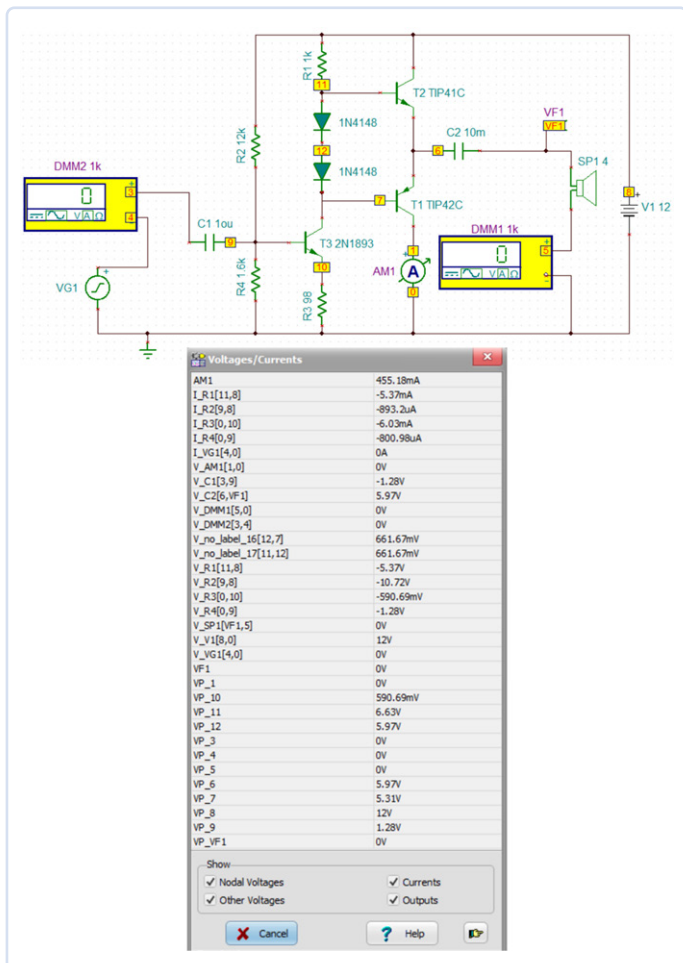
Figuur 2. Ingangs- en uitgangsspanningen op TINA's virtuele tweekanaals-oscilloscoop.

De TINA-simulatie

Laten we eerst eens kijken naar de ingangs- en uitgangsgolfformen. Klik op *Analysis -> Transient*. Stel de begin- en eindwaarden in op 0 en 10 m. **Figuur 2** toont de golfformen op de virtuele oscilloscoop, waarbij de 'uitlezingen' van de ampèremeter zijn verwijderd. Deingangsspanning (onderste curve) bedraagt 800 mV top-top, en de uitgangsspanning (bovenste curve) is ongeveer 3 V top-top, corresponderend met een spanningsversterking van minder dan 4 maal.

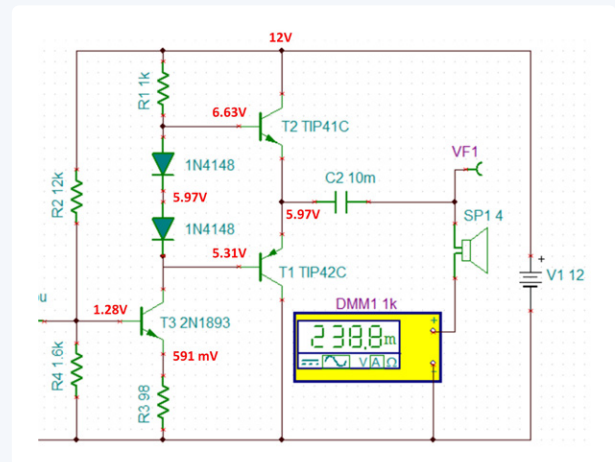
Laten we nu eens kijken naar de DC-stromen in de schakeling. Klik op *Analysis -> DC Analysis -> Table of DC results*. **Figuur 3** toont de DC-spanningen en -stromen in de schakeling zoals gemeten door de TINA-software.

Het is misschien interessanter om de AC-spanningen en -stromen in de schakeling te kennen. Klik op *AC* in interactieve modus. De ingangsstroom ($244,2 \mu A_{rms}$) en de uitgangsstroom ($238,8 mA_{rms}$) worden weergegeven door de twee ampèremeters die zijn afgebeeld in figuur 1. Je kunt een tabel met de AC-stromen en -spanningen krijgen door op *Analysis -> AC Analysis -> Table of AC results* te klikken. **Figuur 4** toont de AC-resultaten.



Figuur 3. Gelijkspanningen en -stromen in de versterkerschakeling.

Een beetje theorie



DC-spanningen in de schakeling zoals berekend door TINA.

1. DC-analyse

De gelijkspanningen op verschillende punten van de schakeling zijn door TINA berekend zoals aangegeven in de figuur.

De spanning op de basis van T3 wordt gegeven door:

$$\frac{R_4}{R_4 + R_2}(V_{cc} - 1.4) = \frac{1.6}{1.6 + 12}(12 - 1.4) = 1.24 \text{ [V]}$$

Overzicht van de spanningen in de schakeling:

T2 emitterspanning, $VE2 = 1,24 - 0,7 = 540 \text{ mV}$

T2 emitterstroom, $IE2 = 0,540/98 = 5,5 \text{ mA}$

T1 basisspanning, $VB2 = V_{cc} - (IE2 \times R1 + 1,4 + VE2) = 4,56 \text{ V}$

T2 basisspanning, $VB2 = V_{cc} - (IE2 \times R1) = 6,5 \text{ V}$

T1 en T2 emitterspanningen, $VE1 = VB2 - 0,7 = 5,93 \text{ V}$

Merk op dat de spanning op de emitters van T1 en T2 bijna gelijk is aan $V_{cc}/2$. De theoretische resultaten liggen heel dicht bij de door TINA berekende resultaten.

2. AC-analyse

Het uitgangsvermogen P_o van de versterker wordt gegeven door:

$$P_o = \frac{V_L^2}{R_L} \text{ [W]}$$

waarbij V_L de RMS-waarde van de belastingsspanningen is. Uit de AC-analyse blijkt dat $V_L = 0,955 \text{ V}$, en $R_L = 4 \Omega$. Daarom is $P_o = 228 \text{ mW}$.

Het AC-ingangsvermogen P_i wordt berekend uit:

$$P_i = 0.4 \times 0.244 = 0.0976 \text{ [mW]}$$

De vermogenswinst komt uit op $228/0,0976 = 2333$ of 33,6 dB.

Eerst testen, dan bouwen

Zowel TINA als TINACloud zijn perfect voor een snelle 'test-alvorens-te-bouwen' analyse van veel elektronische schakelingen. Beide programma's zijn zeer leerzaam en intuïtief en kunnen veel tijd en geld besparen bij het jongleren met echte componenten, hoewel die de basis zullen blijven vormen om de werking van een schakeling 'in het echt' te bestuderen zodra deze op correct is opgebouwd. Als de simulatie met TINA goed wordt uitgevoerd, zal deze een hoge voorspellende waarde hebben voor wat er gebeurt na het indrukken van de aan/uit-knop. Als je de smaak nu te pakken hebt gekregen: een ander en uitgebreider voorbeeld van het gebruik van TINA of TINACloud is door de auteur besproken in een eerder artikel [2].

220215-03

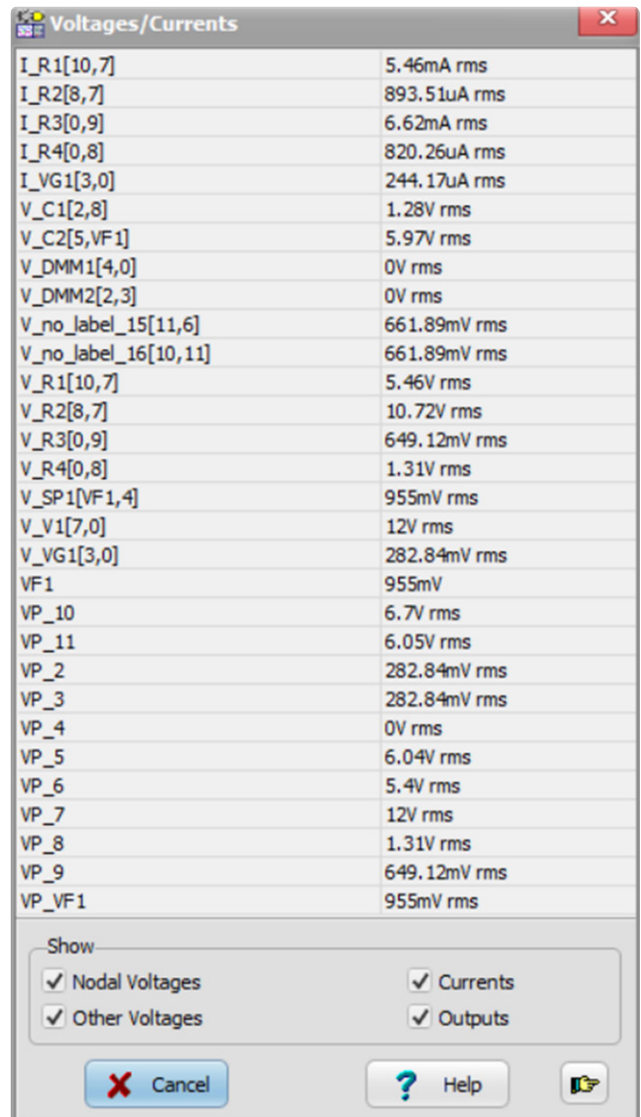


Over de auteur

Prof. Dr. Dogan Ibrahim heeft een BSc Honours graad in Electronic Engineering, een MSc in Automatic Control Engineering en een PhD in Digital Signal Processing. Dogan werkte in vele industriële organisaties voordat hij terugkeerde naar de academische wereld. Hij is de auteur van meer dan 70 technische boeken en heeft meer dan 200 technische artikelen gepubliceerd over elektronica, microprocessors, microcontrollers en aanverwante gebieden.

Vragen of opmerkingen?

Hebt u technische vragen of opmerkingen naar aanleiding van dit artikel? Stuur een e-mail naar de auteur via d.ibrahim@btinternet.com of naar de redactie van Elektor via redactie@elektor.com.



Component	Value
I_R1[10,7]	5.46mA rms
I_R2[8,7]	893.51uA rms
I_R3[0,9]	6.62mA rms
I_R4[0,8]	820.26uA rms
I_VG1[3,0]	244.17uA rms
V_C1[2,8]	1.28V rms
V_C2[5,VF1]	5.97V rms
V_DMM1[4,0]	0V rms
V_DMM2[2,3]	0V rms
V_no_label_15[11,6]	661.89mV rms
V_no_label_16[10,11]	661.89mV rms
V_R1[10,7]	5.46V rms
V_R2[8,7]	10.72V rms
V_R3[0,9]	649.12mV rms
V_R4[0,8]	1.31V rms
V_SP1[VF1,4]	955mV rms
V_V1[7,0]	12V rms
V_VG1[3,0]	282.84mV rms
VF1	955mV
VP_10	6.7V rms
VP_11	6.05V rms
VP_2	282.84mV rms
VP_3	282.84mV rms
VP_4	0V rms
VP_5	6.04V rms
VP_6	5.4V rms
VP_7	12V rms
VP_8	1.31V rms
VP_9	649.12mV rms
VP_VF1	955mV rms

Show

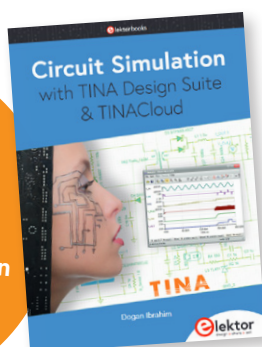
☒ Nodal Voltages ☒ Currents

☒ Other Voltages ☒ Outputs

Cancel Help

Figuur 4. Wisselspanningen en -stromen in de schakeling.

Beide publicaties worden geleverd met een GRATIS éénjarige licentie van TINACloud Basic Edition (aanbieding geldt beperkte tijd)



GERELATEERDE PRODUCTEN

- > D. Ibrahim, *Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (SKU 19977) www.elektor.nl/19977
- > D. Ibrahim, *Circuit Simulation with TINA Design Suite & TINACloud* (E-Book, SKU 19978) www.elektor.nl/19978

WEBLINKS

- [1] TINA/TINACloud-simulatiebestanden: www.elektor.nl/circuit-simulation-with-tina-design-suite-tinacloud
- [2] D. Ibrahim, "Schakelingen simuleren met TINA Design Suite & TINACloud", Elektor mei/juni 2022: www.elektormagazine.nl/220025-03